

Wärmepumpen-Praxis im hessischen Wohngebäudebestand

Endbericht des Forschungsvorhabens



Diese Untersuchung wurde durch das
Hessische Ministerium für Wirtschaft, Ener-
gie, Verkehr, Wohnen und ländlicher Raum
gefördert



wirtschaft.
hessen.de

Autoren:

Stefan Swiderek

Nikolaus Diefenbach

Guillaume Behem

Marc Großklos (Projektleiter)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Darmstadt, 14.10.2025

ISBN: 978-3-941140-84-4

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

Rheinstraße 65

64295 Darmstadt

Germany

Telefon +49 (0)6151 2904-0

Fax +49 (0)6151 2904-97

Internet www.iwu.de

Inhalt

1 Zusammenfassung.....	1
2 Einleitung.....	13
2.1 Wärmeversorgung von Gebäuden mit Wärmepumpen.....	13
2.2 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen – ein Blick in die Literatur	15
2.3 Gebäude- und Systemintegration.....	17
2.4 Untersuchungsansatz im Forschungsprojekt.....	19
3 Felduntersuchung.....	21
3.1 Vorgehen in der Felduntersuchung	21
3.1.1 Erhebung der Energieerzeugungs- und -verbrauchsdaten	21
3.1.2 Bilanzrahmen für die Ermittlung der Arbeitszahlen	22
3.1.3 Anforderungen der BEG-Förderung an die Energiedatenerfassung.....	24
3.1.4 Anpassung an die Bilanzgrenze	24
3.1.5 Weitere Korrekturen der Verbrauchsdaten	26
3.1.6 Einordnung der Unsicherheit der Daten	28
3.2 Beschreibung der teilnehmenden Gebäude.....	29
3.2.1 Gebäudezustand.....	35
3.2.2 Kennwerte Gebäude und Anlagentechnik.....	37
3.2.3 Heizkörpertausch und Gebäudehülle	39
3.3 Messdatenauswertung	43
3.3.1 Heizperiodenvergleich der Jahresarbeitszahlen aller Anlagen.....	43
3.3.2 Luft-Wasser-Wärmepumpen	44
3.3.3 Bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpen	46
3.3.4 Erdreich-Wärmepumpen.....	49
3.3.5 Einfluss des Wärmeübergabesystems	50
3.3.6 Vergleich JAZ und SCOP der Luft-Wasser-Wärmepumpen.....	52
3.3.7 Luft-Wasser- und bivalente Wärmepumpen mit und ohne Heizkörpertausch	53
3.3.8 Elektrische Zusatzheizung / Heizstabeinsatz bei monoenergetischen Wärmepumpen.....	54
3.3.9 Beiträge weiterer unabhängiger Wärmeerzeuger	55
3.3.10 Zusammenfassung und Einordnung der Feldtestergebnisse.....	56
3.4 Kosten von Wärmepumpen im Feldtest.....	58
3.5 Auswertung der Eigentümerbefragung zu Beginn der Feldphase.....	69
3.5.1 Planung, Beratung und Umsetzung.....	69
3.5.2 Beweggründe für den Kauf der Wärmepumpe	70
3.5.3 Erfahrungen im Betrieb / Probleme mit der Wärmepumpe	74
3.6 Zweite Befragung zur Zufriedenheit der Eigentümer zum Projektende	79
3.7 Analyse der Anlagentechnik ausgewählter Gebäude	84
3.8 Sanierungsfahrpläne der Gebäude aus der Felduntersuchung	87
4 Analyse von Versorgungsvarianten für Einzelgebäude	91
4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus dem Zwischenbericht.....	91
4.1.1 Einfamilienhaus	92
4.1.2 Mehrfamilienhaus	100
4.2 Erweiterung um zusätzliche Aspekte.....	105
4.2.1 Klimadaten.....	105
4.2.2 Kältemittel	106

4.2.3	Dimensionierung der Wärmepumpen.....	107
4.2.4	Einfluss der Heizkreis-Spreizung auf die Effizienz.....	111
5	Modellanalysen zur Wärmepumpeneffizienz.....	113
5.1	Modellansatz: Konstanter Gütegrad	113
5.2	Anwendung bei der Jahresbilanz	116
5.3	Vergleich theoretischer Jahresarbeitszahlen und Gütegrade mit den Ergebnissen der Felduntersuchung	119
6	Bewertung von Wärmepumpen für Bestandsgebäude im Rahmen der elektrischen Energieversorgung	122
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Zwischenbericht	122
6.2	Erweiterte Analysen mit Berücksichtigung monoenergetischer Wärmepumpen.....	123
7	Wirtschaftlichkeit.....	128
7.1	Investitionskosten von Wärmepumpen	128
7.2	Ansätze für die Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	132
7.3	Analyse für das Einfamilienhaus	136
7.4	Analyse für das Mehrfamilienhaus	146
8	Literaturverzeichnis.....	150
Anhang A	Zusatzauswertungen der Messdaten	155
A.1	Vergleich Wärmemessung intern/extern bei Teilnehmer 84.....	155
A.2	Sonderauswertungen von Feldtestgebäuden mit verfügbaren Tageswerten.....	157
Anhang B	Ansätze zur Anpassung der Bilanzgrenze	160
B.1	BEG-Anforderungen und Abgleich mit Herstellerinformationen	160
B.2	Anpassungen bei den Einzelgebäuden	162
B.3	Abtauverluste	164
B.4	Korrekturen der Verbrauchsdaten	165
Anhang C	Bilanzergebnisse der Modellgebäude	167
Anhang D	Einfluss der verbesserten Wärmepumpeneffizienz bei sinkenden Vorlauftemperaturen auf die Wirkung von Wärmeschutzmaßnahmen	170
Anhang E	Zusammenfassung der Einflussfaktoren für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb im Bestand.....	178
Anhang F	Empfehlungen zur Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit und Betriebsoptimierung bei der Energieeffizienzanzeige	181
Anhang G	Fragen Eigentümerbefragungen	183
G.1	Erste Eigentümerbefragung.....	183
G.2	Zweite Eigentümerbefragung	184
Anhang H	Anlagendatenblätter aus den Vor-Ort-Terminen	186
Anhang I	Anlagen, die nicht in der Auswertung berücksichtigt wurden	197
Anhang J	Gebäudedatenblätter aller Teilnehmer	199

1 Zusammenfassung

Key Messages

Ergebnisse aus der Felduntersuchung

- Die Wärmepumpen in den Bestandsgebäuden der Felduntersuchung erreichen im Mittel eine gute Effizienz, die Jahresarbeitszahlen weisen aber eine große Bandbreite auf. Für die 23 monoenergetischen bzw. monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen ergibt sich im Durchschnitt eine Jahresarbeitszahl von 3,16. Mit Heizkörpern als Wärmeübergabe und Auslegungs-Vorlauftemperaturen von bis zu 55 °C (15 Anlagen) wurde im Mittel eine Jahresarbeitszahl von 3,05 erreicht. Dabei ist zu beachten, dass in der Felduntersuchung überwiegend teilsanierte Gebäude vertreten waren und keine vollständig unsanierten Altbauten (mit einem Standard vor der ersten Wärmeschutzverordnung), die womöglich höhere Vorlauftemperaturen benötigen.
- Die sieben Erdreichwärmepumpen erreichen eine durchschnittliche Jahresarbeitszahl von mehr als 4,6.
- Bivalente Wärmepumpen (9 Fälle) zeigten sich mit einer durchschnittlichen Jahresarbeitszahl von 3,29 nicht nennenswert effizienter als monoenergetische bzw. monovalente Anlagen. Sie bieten sich aber in Gebäuden an, die eine noch funktionierende fossile Heizung besitzen und schrittweise saniert werden sollen, außerdem in Gebäuden mit hohen Anforderungen an die Warmwassertemperaturen (v. a. Mehrfamilienhäuser), zur Entlastung der Stromnetze bei der Spitzenlast an den kältesten Tagen sowie zur Minimierung der Energiekosten, wenn zukünftig verstärkt grüne Brennstoffe in Heizkesseln genutzt werden.
- Der Vergleich der im Feldtest gemessenen Jahresarbeitszahlen von monovalenten bzw. monoenergetischen Luft-Wasser-Wärmepumpen mit theoretischen berechneten Werten, bei denen individuelle Anlagenkennwerte und Auslegungs-Vorlauftemperaturen eingeflossen sind, zeigte im Durchschnitt um 22 % niedrigere Messergebnisse gegenüber den Theoriewerten. Es bestätigt sich hier die Vermutung, dass ideale rechnerische Effizienzwerte von den Wärmepumpen im realen Betrieb in der Regel nicht ganz erreicht werden.

Anlagenoptimierung: Hinweise aus der Feldphase

- Niedrige Vorlauftemperaturen sind entscheidend für eine gute Jahresarbeitszahl und damit niedrige Energiekosten. Die Maximaltemperatur (ohne bivalente Anlagen) in der Felduntersuchung lag bei ca. 55 °C. Entscheidend zur Begrenzung der Vorlauftemperaturen sind entsprechend große Heizflächen. In den Untersuchungsgebäuden ergaben sich bessere Arbeitszahlen, wenn ein Heizkörpertausch durchgeführt wurde, so dass der Heizkörpertausch deswegen im Zuge eines geplanten Wärmepumpeneinbaus immer gemeinsam mit anderen Effizienzmaßnahmen als mögliche Option geprüft werden sollte.
- Neben den technischen/planerischen Randbedingungen (z. B. Hersteller-Effizienzkennwerte der Anlage, Auslegung, hydraulische Einbindung) ist für eine hohe Effizienz auch die Parametrierung der Regelung von großer Bedeutung. Heizkurven können häufig abgesenkt werden, eine Warmwasserbereitung in den Mittagsstunden mit hohen Außentemperaturen wirkt sich ebenfalls günstig auf die Jahresarbeitszahl aus.
- Bei sehr kleinen Pufferspeichern oder bei einigen Kombispeichern haben die Anlagen nicht optimal abgeschnitten. Da es auch effiziente Anlagen mit Kombispeicher gibt, ist hier die hydraulische und regelungstechnische Einbindung entscheidend. Längerfristig gesehen wird Pufferspeichern (Wärme und Strom) eine zunehmende Rolle für die bessere Ausnutzung der zeitlich schwankenden Solar- und Windstromproduktion zukommen.

- PV-Strom wird noch zu wenig für die effiziente Wärmeerzeugung genutzt, da keine Kommunikation zwischen den Anlagen stattfindet. Hier sind einfachere Konzepte für die Kopplung von Komponenten unterschiedlicher Hersteller, aber auch gewerkeübergreifendes Know-how (Heizung, Elektro) erforderlich.
- Die Effizienzanzeige der Wärmepumpen sollte leichter für die Nutzer zugänglich werden (direkte Anzeige in der obersten Menüebene), eine Einordnung der eigenen Werte anzeigen (z. B. „im erwarteten Bereich“ oder „schlechter als erwartet“) und möglichst Optimierungen vorschlagen (ggf. durch KI-Einsatz). Außerdem sollten im Rahmen der BEG-Förderung einheitliche Bilanzgrenzen für alle Anlagen und Hersteller vorgegeben werden.

Rückmeldung der Eigentümer

- Bei Eigentümerbefragungen wurden Klimaschutz, Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und die Möglichkeit zur Eigenversorgung durch PV-Anlagen als wichtige Gründe für die Entscheidung zu einer Wärmepumpe genannt. Die unmittelbare Verbesserung der Wirtschaftlichkeit war für viele Teilnehmer nicht ausschlaggebend für die Kaufentscheidung. Die allgemeine Zufriedenheit und die Zufriedenheit mit der Funktion und dem Betrieb der Anlagen lag bei 90 %. Rückblickend sind über 80 % der Befragten mit dem Ablauf der Installation der Anlage zufrieden.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

- Die durchschnittlichen Wärmepumpenkosten in der Felduntersuchung lagen (umgerechnet auf das Preisniveau des Jahres 2023) für Luft-Wasser-Wärmepumpen bei 29.700 €, für Erdreich-Anlagen (ohne Erschließung) bei 27.500 € und für bivalente Anlagen bei 34.300 €. Die Kosten variieren stark, vielfach sind unterschiedliche Ausführungsvarianten für Mehr- oder Minderkosten verantwortlich. Die mittleren Anlagenkosten stiegen von 2017–2021 bis 2022-2023 um ca. 6.000 €.
- Für ein Ein- und ein Mehrfamilienhaus mit ursprünglicher Ölkessel-Heizung wurde die Wirtschaftlichkeit einer heutigen Modernisierung der Wärmeversorgung über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren untersucht (Investitionskosten in das neue Heizsystem und die zukünftigen Energie- und Wartungskosten). Dabei wurden zwei Szenarien zur Energiepreisentwicklung betrachtet – eines eher an der heutigen Rahmensetzung orientiert und günstiger für den Einsatz monovalenter Wärmepumpen, das andere optimistischer für den zukünftigen Einsatz klimaneutraler Brennstoffe.
- Im ersten Szenario weisen durchweg monoenergetische Wärmepumpenlösungen die geringsten Wärmeversorgungs-kosten auf. Die monoenergetische Wärmepumpe sollte dabei nicht zu klein ausgelegt werden, d. h. der Heizstabanteil sollte heute nicht viel höher als 5 % liegen, auch wenn in späteren Jahren eine Gebäudedämmung vorgesehen ist, die dann einen monovalenten Betrieb ermöglicht.
- Im zweiten Szenario liegen die Kosten der verschiedenen Heizsysteme enger zusammen. Dabei zeigt sich zumeist die bivalente Wärmepumpe als günstigste Lösung. Diese erweist sich generell – unabhängig vom Energiepreisszenario – auch dann als empfehlenswert, wenn der vorhandene Heizkessel gar nicht ausgetauscht werden muss, sondern dauerhaft weiterbetrieben werden kann.

Wärmepumpen im Energiesystem

- Die Untersuchungen zeigen, dass in Gebäuden, in denen aktuell noch keine Wärmeschutzmaßnahmen anstehen, durch einen frühzeitigen Wärmepumpeneinbau nennenswert Treibhausgasemissionen im Gesamtsystem (Gebäude / Energieversorgung) eingespart werden können und im Fall einer erforderlichen Heizungsmodernisierung ggf. Lock-in-Effekte vermieden werden, die sonst entstehen könnten, wenn stattdessen noch einmal ein neuer Heizkessel installiert würde.
- Mit Hilfe eines Simulationsprogramms wurde das Zusammenspiel verschiedener Heizsysteme mit einem zukünftigen elektrischen Energiesystem mit deutlich höheren volatilen Wind- und Solarstromanteilen untersucht. Es zeigt sich, dass der bisher übliche Pauschalansatz durchschnittlicher CO₂-Emissionsfaktoren der Stromerzeugung für den Systemvergleich nicht mehr sachgerecht erscheint: Direktelektrische

Heizsysteme werden auf diese Weise zu günstig und bivalente Wärmepumpen zu ungünstig bewertet. Letztere schneiden in der Systemanalyse ähnlich gut ab wie monovalente Systeme, da sie zwar einen zusätzlichen Brennstoffverbrauch in den begleitenden Heizkesseln aufweisen, gleichzeitig aber (im Vergleich zu monovalenten Systemen) einen geringeren Brennstoffverbrauch im Kraftwerkspark verursachen.

Überblick

Das Forschungsvorhaben „Wärmepumpen-Praxis im hessischen Wohngebäudebestand“ wurde vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlicher Raum gefördert und untersuchte einerseits in einer Feldphase mit 48 Gebäuden die Effizienz von Wärmepumpen in kaum oder teilsanierten Wohngebäuden in Hessen. Andererseits wurden mit Hilfe von Simulationen Möglichkeiten der Einbindung von Wärmepumpen in bestehende Heizungsanlagen, die Treibhausgasemissionen verschiedener Versorgungskonzepte und Dimensionierungen in einem zukünftigen Energiesystem mit einem hohen Anteil regenerativen Stroms betrachtet. Schließlich wurden die Gesamtkosten unterschiedlicher Wärmepumpenkonzepte und deren Wirtschaftlichkeit analysiert. Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Felduntersuchung

Im Zeitraum zwischen Ende 2022 und Herbst 2023 wurden über unterschiedliche Kanäle Hauseigentümer mit Wärmepumpen (Anlagen nicht älter als 5 Jahre) in un- oder teilsanierten Wohngebäuden (Baujahr vor 1995) für eine Teilnahme an der zweijährigen Felduntersuchung geworben. Unter den 81 Interessenten, die sich gemeldet hatten, konnten 48 Gebäude in die Feldphase aufgenommen werden, bei denen Daten zu Stromverbrauch und Wärmeabgabe der Wärmepumpe vorlagen und durch die Eigentümer quartalsweise übermittelt werden konnten. Die Daten stammen zum großen Teil aus der Wärmepumpenregelung, nur teilweise waren externe Zähler vorhanden. Diese Messdaten wurden anschließend auf eine einheitliche Bilanzgrenze umgerechnet und für ganze Jahre ausgewertet. Die Auswertungen wurden überwiegend für das Jahr 2024 durchgeführt. Einzelheiten zu den Untersuchungsfällen sind in den Gebäudedatenblättern im Anhang dokumentiert.

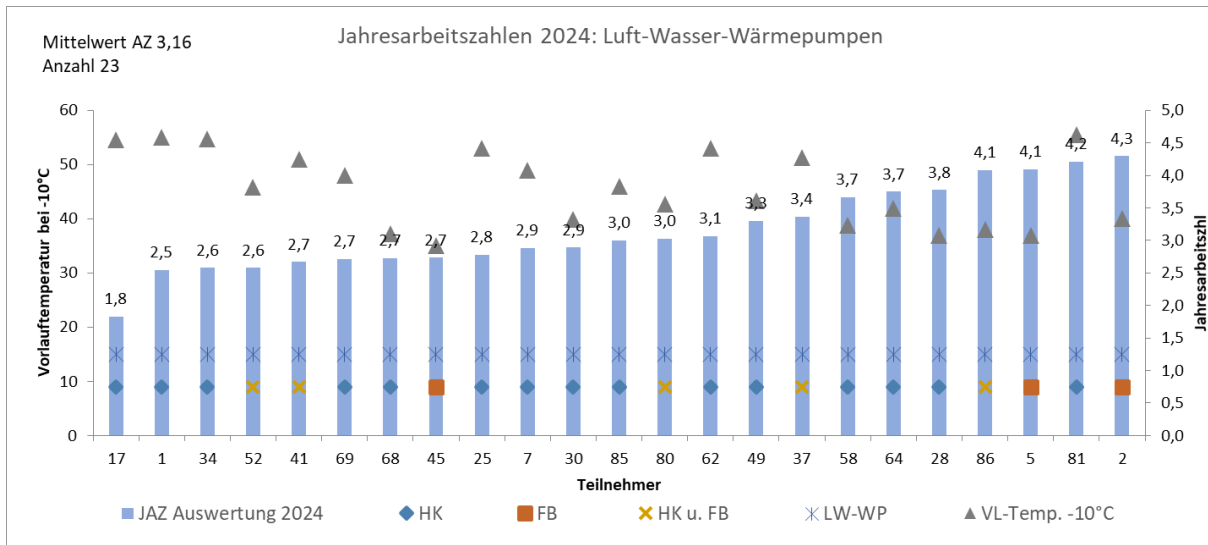
Bei den teilnehmenden Gebäuden handelt es sich um 47 Ein-/Zweifamilienhäuser und ein Mehrfamilienhaus. 19 % der Gebäude sind vor 1949 errichtet worden, 33 % zwischen 1949 und 1978 und 48 % zwischen 1979 und 1994. Bei den Wärmepumpen handelt es sich in 67 % der Gebäude um Luft-Wasser-Wärmepumpen (LW-WP), 19 % sind bivalente Anlagen mit LW-WP, 12 % Erdreich-Wärmepumpen, und es gibt eine Grundwasser-Wärmepumpe (2 %). Die Anlagen wurden hauptsächlich zwischen 2021 und 2023 errichtet (79 %). Die Wärmepumpen stellen überwiegend Wärme für Heizung und Warmwasserbereitung zur Verfügung (85 %), einige Anlagen versorgen aber nur die Heizung. Als Wärmeübergabesysteme sind in 65 % der Gebäude ausschließlich Heizkörper vorhanden, 10 % haben ausschließlich Fußbodenheizung und 23 % gemischte Systeme. Zum Zeitpunkt der Felduntersuchung war bei 61 % der Gebäude mindestens ein Heizkörper im Zusammenhang mit dem Einbau der Wärmepumpe getauscht worden.

An der Gebäudehülle waren unterschiedlich viele Sanierungsmaßnahmen durchgeführt worden. Je älter das Gebäude, umso wahrscheinlicher war eine Sanierung von mehreren Teilen der Außenhülle (Dach, Außenwand, Fenster, Kellerdecke). Nur in der neuesten Baualtersklasse (1984 - 1994) gab es auch Gebäude ohne jede energetische Verbesserung. Daraus folgte, dass nur 5 Gebäude einem energetischen Zustand entsprachen, der für bis 1984 errichtete Gebäude typisch ist – alle anderen erreichen einen besseren Wärmeschutz.

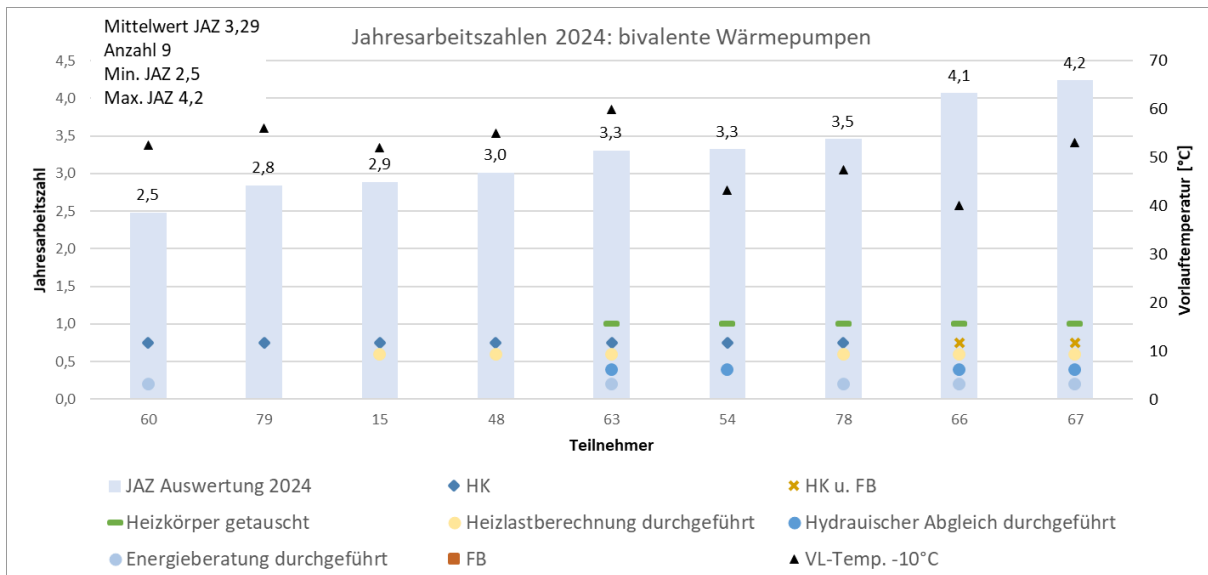
Effizienz der Wärmepumpen

Die Jahresarbeitszahlen (JAZ) der untersuchten Wärmepumpen lagen im Mittel zwischen 3,36 (2023/24) und 3,46 (2024/25), wobei zwischen den einzelnen Gebäuden deutliche Unterschiede bestehen. Die Luft-Wasser-Wärmepumpen erreichten im Haupt-Auswertejahr 2024 im Mittel eine JAZ von 3,05, wenn nur über die

Heizkörper geheizt wurde. Der Wert von 3,70 wurde mit reiner Fußbodenheizung erreicht und 3,07 bei gemischter Wärmeübergabe mit mindestens einem Heizkörperkreis. Wenn man gezielt diejenigen Luft-Wasser-Wärmepumpen betrachtet, bei denen höhere Auslegungsvorlauftemperaturen im Bereich von 45°C bis 55 °C vorliegen, so wurde hier ein Wert von durchschnittlich immerhin noch 2,85 erreicht. Die Verteilung der JAZ ist im folgenden Diagramm dargestellt.



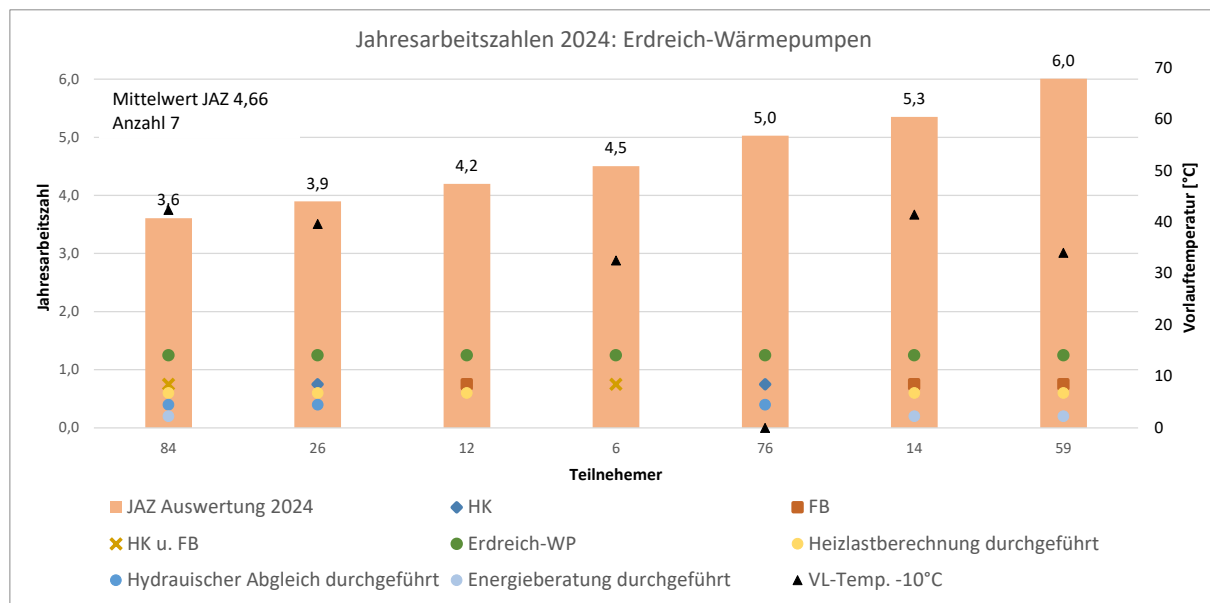
Die bivalenten Heizungsanlagen wurden ausschließlich mit LW-WP realisiert, bis auf eine Ausnahme (Pelletkessel), immer in Verbindung mit einem Erdgas-Kessel. Bei diesen Anlagen erreichen die Wärmepumpen im Mittel eine JAZ von 3,29. Betrachtet man die nur über Heizkörper beheizten Gebäude, liegt der Mittelwert bei 3,04.



Nur bei vier der bivalenten Anlagen liegt die Leistung der Wärmepumpe deutlich unter der Heizlast des Gebäudes. Bei diesen werden 32 bis 61 % der Wärmeenergie durch den zweiten Wärmeerzeuger bereitgestellt. Bei vier Gebäuden liefert der Erdgas-Kessel weniger als 21 % der Wärme und bei zwei Gebäuden wäre der zweite Wärmeerzeuger für eine Beheizung nicht erforderlich. Bei fast allen Gebäuden mit bivalenter Anlage

wurden die Vorlauftemperaturen auf ein für die Wärmepumpe geeignetes Niveau abgesenkt und teilweise auch Heizkörper getauscht.

Die Erdreich-Wärmepumpen (inkl. der Grundwasser-Wärmepumpe Nr. 26) erreichen im Mittel eine JAZ von 4,66, mit Fußbodenheizung 5,18 und mit Heizkörpern 4,26. Die Anlage mit der höchsten JAZ von 6,0 wurde 2017 an eine bereits vorhandene Erdsonde angeschlossen. Sie wird mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen betrieben (max. 35 °C) und hat eine optimierte Einstellung für die Warmwasserbereitung (46 °C, keine Zirkulation).



Vergleicht man alle LW-WP (monoenergetisch und bivalent) mit und ohne Heizkörpertausch, so erreichen Anlagen mit Heizkörpertausch im Mittel eine JAZ von 3,4, ohne Heizkörpertausch sind es nur 2,9.

Wichtig für die Effizienz einer Wärmepumpenanlage ist auch der Anteil des Heizstabes an der gesamten Wärmeabgabe, der hier bei der Ermittlung der JAZ immer mitberücksichtigt wurde. Für 10 Gebäude konnte dieser separat ausgewiesen werden. Bei vier dieser Gebäude kam der Heizstab nicht zum Einsatz, bei den anderen Gebäuden betrug sein Anteil zwischen 0,4 und 5,8 % der Wärmeabgabe. Bei dem Gebäude mit 5,8 % wurde der hohe Heizstabanteil durch eine Fehlbedienung verursacht.

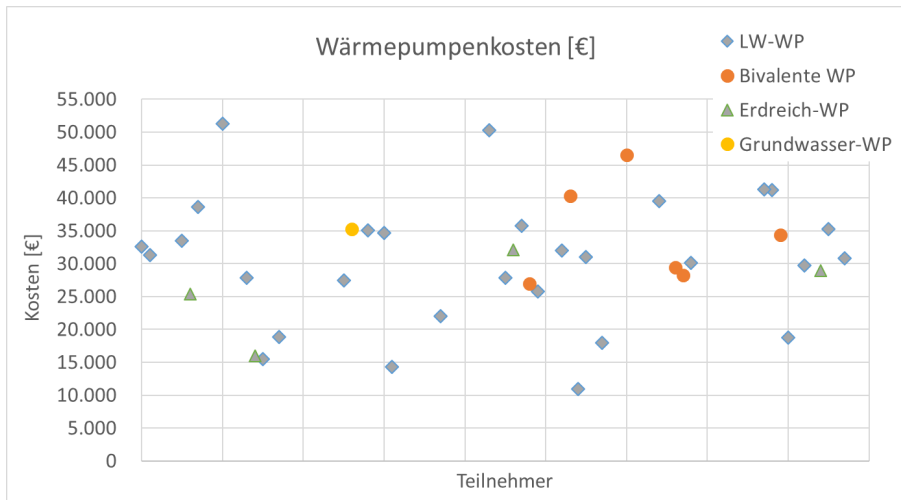
In zahlreichen Gebäuden sind neben den zentralen Anlagen auch weitere unabhängige Wärmeerzeuger wie Kamin- oder Pelletöfen aber auch thermische Solaranlagen vorhanden. Deren Beiträge konnten nur auf Basis von Angaben der Eigentümer oder mit Pauschalwerten grob abgeschätzt werden. Ihre Anteile am Gesamt-wärmeverbrauch liegen zwischen 0 % und ca. 33 %. Ein Einfluss auf die JAZ der Wärmepumpen ist nicht ableitbar.

Die Felduntersuchung wurde hauptsächlich in Südhessen durchgeführt. Die Ergebnisse können in anderen Regionen in Hessen bzw. in Deutschland von den dargestellten Werten abweichen.

Kosten von Wärmepumpen

Von den Eigentümern konnten teilweise auch Rechnungen bzw. Angebote der Wärmepumpenanlagen für eine Auswertung bereitgestellt werden. Bei den 39 auswertbaren Kostendatensätzen wurden die Wärmepumpenkosten analysiert, die nur direkt mit der Wärmepumpe in Verbindung stehen (Wärmepumpe, Aufstellung Außengerät, ggf. zweiter Wärmeerzeuger, Puffer- und Trinkwasserspeicher, alle Pumpengruppen, Heizungswasseraufbereitung, Entsorgung der Altanlage und der Öltanks, Elektroarbeiten, Planung, hydraulischer Abgleich). Die Kosten aus unterschiedlichen Jahren wurden mit dem Baupreisindex einheitlich auf das Jahr 2023 umgerechnet. Im Mittel aller Anlagen lagen die Wärmepumpenkosten bei ca. 30.100 €, für Luft-

Wasser-Wärmepumpen waren es 29.700 €, bei Erdreich-WP 27.500 € (ohne Quellenerschließung) und bei bivalenten Anlagen 34.300 €.



Die unterschiedlichen hohen Kosten bei WP-Systemen gleicher Leistungsklasse liegen vielfach in unterschiedlichen Ausführungsvarianten begründet. Bis Anfang 2024 waren zudem die förderfähigen Kosten der Systeme nicht gedeckelt. Das hat teilweise dazu geführt, dass u. U. Komponenten, die ggf. noch einige Jahre weiter hätten genutzt werden können (Heizkreisverteiler, Pumpengruppen usw.) mit getauscht wurden, um diese ebenfalls gefördert zu bekommen. Bei Anlagen mit geringen Kosten wurden häufig weniger Komponenten ausgetauscht als bei teuren Systemen bzw. sind teils kostenintensive Arbeiten nicht angefallen. Musste im Projekt z. B. keine Ölheizung inklusive Öltanks entsorgt werden, konnten Kosten bis zu 2.354 € entfallen, war eine einfache Geräteaufstellung z. B. mit Wandhalter möglich, konnten bis zu 2.326 € eingespart werden. Wurde eine aufwändige Elektroinstallation mit neuem Zählerschrank benötigt, konnten gegenüber einer einfachen Installation mit kurzen Wegen 4.275 € an Mehrkosten anfallen. Auch die Anzahl der Heizkreise und der benötigten Pumpengruppen wirkt sich auf die Wärmepumpenkosten aus. Einfache Systeme mit einem Heizkreis und ohne bzw. ohne neue Zirkulationspumpe tragen zur Kostenvermeidung bei.

Als einzelne Kostenpunkte wurden die Montagekosten (im Mittel 4.866 € je Anlage), die Warmwasserbereitung (im Mittel 3.726 €), der hydraulische Abgleich (im Mittel 951 €), die Elektroinstallation (im Mittel 1.993 €), eine Außenaufstellung (im Mittel 1.638 €) und die Altgeräteentsorgung (im Mittel 1.135 €) ausgewertet. Für den Heizkörperaustausch ergaben sich im Mittel Kosten von 976 € pro Stück. Bei drei Gebäuden mit LW-WP wurden mehr als 14 Heizkörper getauscht bzw. neu eingebaut, was zu deutlichen Mehrkosten bei den Gesamtkosten geführt hat und die Auswertung beeinflusst.

Im Zeitverlauf ergab sich ein Anstieg der mittleren Kosten von ca. 26.000 € im Zeitraum 2017-2021 auf ca. 32.000 € in den Jahren 2022 – 2023 – die mittleren Anlagenkosten stiegen somit um ca. 6.000 €.

Eigentümergefragung

Die Gebäudeeigentümer wurden zu Beginn und gegen Ende der Felduntersuchung zu ihren Beweggründen, der Umsetzung, den Erfahrungen und zur Zufriedenheit mit der Wärmepumpe befragt. Klimaschutz spielte bei über 90 % der Befragten eine Rolle bei der Entscheidung zu einer Wärmepumpe, aber auch die Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und eine reduzierte Abhängigkeit von Energieimporten waren ein Anliegen von rund Dreiviertel der befragten Wärmepumpenbesitzer. Die Möglichkeit zur Eigenversorgung durch die Kombination der Wärmepumpe mit einer PV-Anlage ist für fast alle ein Kaufargument, dem Interesse an moderner Technik stimmten viele zu, aber es spielte eine geringere Rolle bei der Auswahl der Heizungstechnik.

Die unmittelbare Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Heizungsanlage spielte nur für ca. 40 % der Befragten eine Rolle bei der Kaufentscheidung und auch nur die Hälfte der Befragten hatte die Erwartung, dass die Energiekosten durch die Wärmepumpe geringer ausfallen als zuvor.

Heizlastberechnung und hydraulischer Abgleich, die eine Voraussetzung für einen optimierten Betrieb einer Wärmepumpenheizung sind, wurden nur in 62 % bzw. 52 % der Gebäude (Betreibereinschätzung) sicher durchgeführt. In den übrigen Fällen wurde die Auslegung scheinbar mit groben Annahmen aus Baualter der Gebäude und Energieverbrauch vor der Umrüstung abgeschätzt. Die gewünschten Raumtemperaturen wurden von den Wärmepumpenanlagen in über 90 % der Fälle erreicht und in den beanstandeten Fällen wurden die gewünschten Temperaturen nur in einigen Räumen nicht erreicht. Diese Probleme ließen sich mit einer besseren Planung / Auslegung und einem korrekten hydraulischen Abgleich vermutlich häufig vermeiden.

Betrachtet man die Detailauswertung zu den Fällen, in denen eine auffällige (aber nicht unbedingt störende) Lautstärke genannt wurde (12 Betreiber, 8 Nachbarn), bleiben nur drei Fälle übrig, bei denen Maßnahmen zur Geräuschreduzierung für sinnvoll oder notwendig erachtet wurden. Die Schwingungsübertragung von wandhängenden Geräten scheint in einigen Fällen ein Problem zu sein, in anderen Fällen funktionieren solche Anlagen aber auch problemlos. Bei dichter Bebauung können Schallprobleme mit der richtigen Wahl des Standorts der Außeneinheit und geräuscharmen Anlagentypen vermieden werden.

Bei den technischen Schwierigkeiten dominieren die Probleme, die im ersten Betriebsjahr aufgetreten sind. Aus den persönlichen Gesprächen mit den Betreibern wurde häufig angemerkt, dass die Monteure oft von der verbauten Technik noch überfordert scheinen und Fehler auftraten, die mit einer besseren Schulung bzw. mit mehr Erfahrung hätten vermieden werden können. Zudem führen lange Wartezeiten auf den technischen Support der Hersteller zu nicht zufriedenen Kunden.

Die Möglichkeiten der neuesten Anlagentechnik zur Sektorenkopplung wird häufig noch nicht ausgeschöpft. Von den 48 Teilnehmern in der Auswertung haben fast alle (45) eine Wärmepumpe mit SG-Ready-Label und 32 davon eine PV-Anlage. Aber nur zwei Teilnehmer haben diese Funktion auch aktiviert. Die Schnittstellen zur Nutzung von PV-Überschüssen oder auch von dynamischen Stromtarifen, die genutzt werden können, um mehr erneuerbare Energien in der Heizung zu verwenden, müssten vereinfacht und leichter nutzbar werden. Hier sollten die Herstellern Schulungen der Monteure anbieten und einfache, standardisierte Schnittstellen einführen.

Auch nach der zweiten Befragung am Ende der Feldphase kann man festhalten, dass die Eigentümer in hohem Maß mit Ihren Anlagen zufrieden sind. Die allgemeine Zufriedenheit und die Zufriedenheit bei Funktion und Betrieb liegt bei 90 %. Rückblickend sind über 80 % der Befragten mit dem Ablauf der Installation der Anlage zufrieden. Auch bei der Bedienbarkeit und der Lautstärke des Außengeräts besteht eine generelle Zufriedenheit, wenn auch in etwas geringerem Umfang.

Etwa die Hälfte der Nutzer verwenden eine App und sind mit der Nutzung der App mehrheitlich zufrieden. Allerdings scheinen die Apps nach Ansicht etwa der Hälfte der Eigentümer zu wenige Hilfen oder Informationen für einen effizienten bzw. energiesparenden Anlagenbetrieb anzubieten. Eine Einweisung in die Nutzung und den energiesparenden / optimalen Betrieb hat nur bei Dreiviertel der Befragten stattgefunden und nur 36 % von diesen waren mit der Einweisung zufrieden. Bei der Hälfte war die Einweisung nur oberflächlich oder nur auf den Betrieb bzw. die Handhabung der Anlage bezogen. Bei über 50 % wurde den Betreibern nicht erklärt, woran sie einen effizienten Betrieb erkennen können. Die Optimierung der Einstellung der Anlage nach einer gewissen Betriebszeit wurde nur bei etwa der Hälfte der Anlagen durchgeführt.

Analyse der Anlagentechnik ausgewählter Gebäude

Zwischen Januar und März 2025 wurden 10 Wärmepumpenanlagen (teils weniger effiziente, teils sehr effiziente Anlagen oder Anlagen mit ungewöhnlichen Konzepten) im Rahmen von Vor-Ort-Terminen in Augenschein genommen und neben der Plausibilisierung der vorhandenen Messdaten Verbesserungspotenziale bei Installation, Regelung und Betriebsführung untersucht.

Bei zwei Anlagen konnten Gründe für eine schlechte Anlageneffizienz identifiziert werden (Durchmischung im Kombispeicher / Warmwasserbetrieb bzw. gleichzeitiger Einsatz mehrerer nicht abgestimmter Regelungen). Bei anderen Anlagen mit mäßigen Arbeitszahlen waren keine offensichtlichen Mängel vorhanden, so dass die konkrete Ursache unklar bzw. wahrscheinlich in mehreren einzelnen Gründen zu finden ist. Bei sieben Anlagen könnten z. B. die Heizkurven optimiert werden. Weiterhin könnten durch angepasste Ladezeiten der Warmwasserbereitung (nicht in den frühen Morgenstunden) sowie eine Reduzierung der Leitungsverluste der Trinkwasserzirkulation (reduzierte Laufzeiten) Effizienzsteigerungen erzielt werden. Auch eine lückenlose Dämmung aller warmen Rohrleitungen und Armaturen sind häufig nicht gegeben. Dies betrifft häufig auch die Kältemittelleitungen.

Bei den meisten Anlagen ist die Effizienz der Wärmepumpenanlage für die Nutzer nicht einfach aus- bzw. ablesbar – auch nicht bei den neueren Anlagen, die über eine Effizienzanzeige verfügen müssten. Werden Arbeitszahlen angezeigt, ist meist nicht klar, welchen Zeitraum diese Zahlen bewerten. Weiterhin ist die Bedienung und die Einstellung von grundlegenden Parametern wie Betriebszeiten, Ladezeiten der Warmwasserbereitung, Heizgrenztemperatur, Heizkurven, Warmwassertemperaturen usw. oft nicht einfach und intuitiv möglich.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die schlechte, lückenhafte bzw. nicht vorhanden technische Dokumentation der Anlage. Trotz der vielen Verbesserungsmöglichkeiten sind die Nutzer der Anlagen mit der Technik im Grunde zufrieden.

Konzeptionelle Untersuchungen

Neben der Feldphase wurden im Rahmen des Projekts auch zahlreiche konzeptionelle Untersuchungen durchgeführt, die verschiedene Aspekte des Wärmepumpeneinsatzes beleuchten.

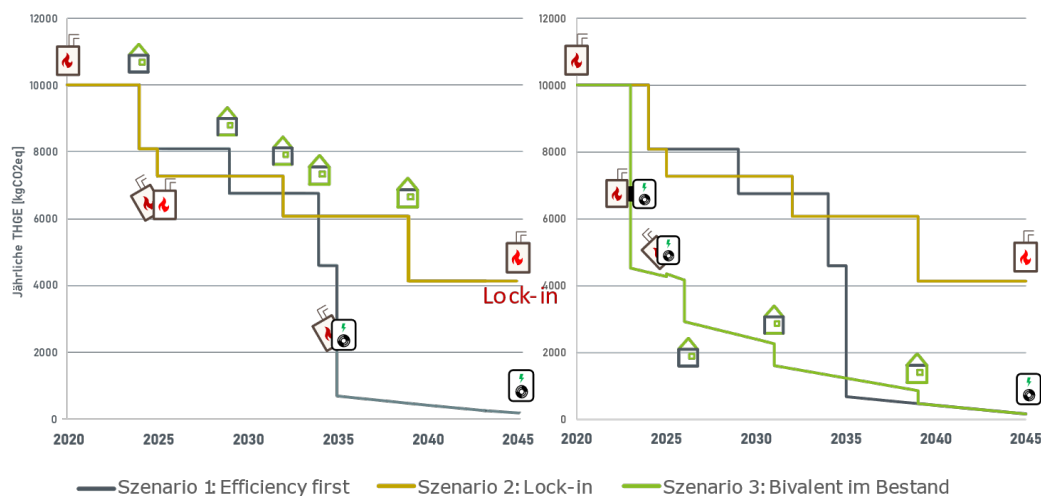
Versorgungsvarianten für Einzelgebäude

Mit Hilfe dynamischer Simulationen an zwei typischen Modellgebäuden (EFH und MFH) aus den 1960er Jahren wurden Effizienz und ökologische Bewertung von unterschiedlichen Hydrauliken (verschiedene monoenergetische und bivalente Konzepte mit unterschiedlicher Speichereinbindung) für Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden untersucht. Es zeigte sich:

- Alle untersuchten Wärmepumpenvarianten ergaben signifikant geringere Treibhausgasemissionen als konventionelle Kessellösungen, selbst bei ungünstigen Ausgangsbedingungen in unsanierten Gebäuden. Dabei zeigt sich, dass der energetische Standard der Gebäudehülle einen größeren Einfluss auf die absoluten Emissionen hat als die spezifische Wärmepumpeneinbindung.
- Die Kombination intelligenter Regelstrategien mit Photovoltaikanlagen kann den Autarkiegrad (d. h. den solaren Deckungsgrad des Wärmepumpen-Strombezugs) für das Einfamilienhaus nahezu verdoppeln (auf 20 % im unsanierten und 39 % im vollsanierten Zustand). Bei Mehrfamilienhäusern wurden aufgrund begrenzter Dachflächen relativ zur Wohnfläche deutlich geringe Autarkiegrade erreicht. Insbesondere im Kernwinter sind die PV-Deckungsgrade sehr gering.
- Durch die Analyse zukünftiger Klimabedingungen („Testreferenzjahr“ TRY2045) wurde deutlich, dass Wärmepumpen unter erwarteten Klimaveränderungen tendenziell effizienter arbeiten werden (Effizienzsteigerung von 0,8 - 5,2 %), wobei der prozentuale Effekt bei besser gedämmten Gebäuden stärker ausgeprägt ist.
- Studien zur Dimensionierung zeigen, dass eine mittlere Wärmepumpenauslegung, dimensioniert für monovalenten Betrieb ab dem untersuchten Teilsanierungszustand TS2 (Dach, Fenster, Kellerdecke saniert), einen guten Kompromiss zwischen Effizienz und Emissionsreduktion über alle Gebäudezustände darstellt.

Durch die Untersuchung alternativer Sanierungspfade wurde gezeigt, dass der traditionelle „Efficiency First“-Ansatz (d. h. Wärmepumpeneinbau erst später, wenn auch gedämmt wurde) nicht immer optimal ist. Ein frühzeitiger Wärmepumpeneinbau in bivalenter Konfiguration kann sofortige Emissionsreduktionen von

etwa 50 % bewirken und gleichzeitig Lock-in-Effekte durch nochmalige Kesselerneuerung vermeiden. Dadurch werden flexible, an individuelle Gegebenheiten angepasste Sanierungsfahrpläne ermöglicht.



Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass Wärmepumpen auch in Bestandsgebäuden vor vollständiger Sanierung effizient eingesetzt werden können. Die Entscheidung für eine Wärmepumpe sollte daher nicht von einer vollständigen Gebäudesanierung abhängig gemacht werden. Als Erfolgsfaktoren wurden eine bedarfsgerechte Systemdimensionierung, optimierte hydraulische Integration und eine strategische Abfolge der Sanierungsschritte identifiziert.

Modellanalysen zur Wärmepumpen-Effizienz

Um die Auswirkungen eines verstärkten Einsatzes von Wärmepumpen im Bestand auf das dynamische Verhalten des Gesamtenergiesystems und die Treibhausgasemissionen untersuchen zu können, sind vereinfachte Modellansätze zur Effizienz von Wärmepumpen hilfreich. Aus diesem Grund wurde hier das verbreitete Carnot'sche Gütegradmodell angewendet. Für unterschiedlich warme Jahre wurden mit dem Modell Geradengleichungen für die Aufwandszahl (Kehrwert der JAZ) in Abhängigkeit der Auslegungs-Vorlauftemperatur berechnet.

Anschließend wurden die Ergebnisse mit den Messwerten der realen monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen aus der Felduntersuchung abgeglichen. Es zeigte sich, dass die realen JAZ 22 % unter den Modellwerten lagen. Für den realen Wärmepumpenbetrieb ist also damit zu rechnen, dass theoretische Effizienzwerte nicht ganz erreicht werden können. Modellrechnungen sollten vor diesem Hintergrund mit realitätsnahen Ansätzen für die Wärmepumpeneffizienz operieren. In der folgenden Analyse wurde eine Luft-Wasser-Wärmepumpe betrachtet, die im monovalenten Betrieb eine Jahresarbeitszahl von 2,9 aufweist und damit im Bereich der gemessenen Werte aus dem Feldtest liegt, die in Gebäuden mit Auslegungsvorlauftemperaturen von 45 °C und mehr erreicht werden (d. h. in typischen Bestandsfällen mit nicht zu großzügig dimensionierten Heizkörpern).

Mit den Modellansätzen zur Wärmepumpeneffizienz wurde auch die Frage untersucht, wie hoch der zusätzliche Energiespareffekt von Wärmeschutzmaßnahmen ausfällt, wenn man neben der eingesparten Heizwärme auch die Steigerung der JAZ berücksichtigt, die aus der nach einer Dämmung möglichen Absenkung der Vorlauftemperaturen resultiert. Dieser zusätzliche Einspareffekt kann je nach Maßnahmen unterschiedlich hoch ausfallen, als grobe Faustregel lässt sich für monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen eine Größenordnung von 10 % abgeben (bezogen auf die Einsparungen, die bei gleichbleibender JAZ erreicht würden).

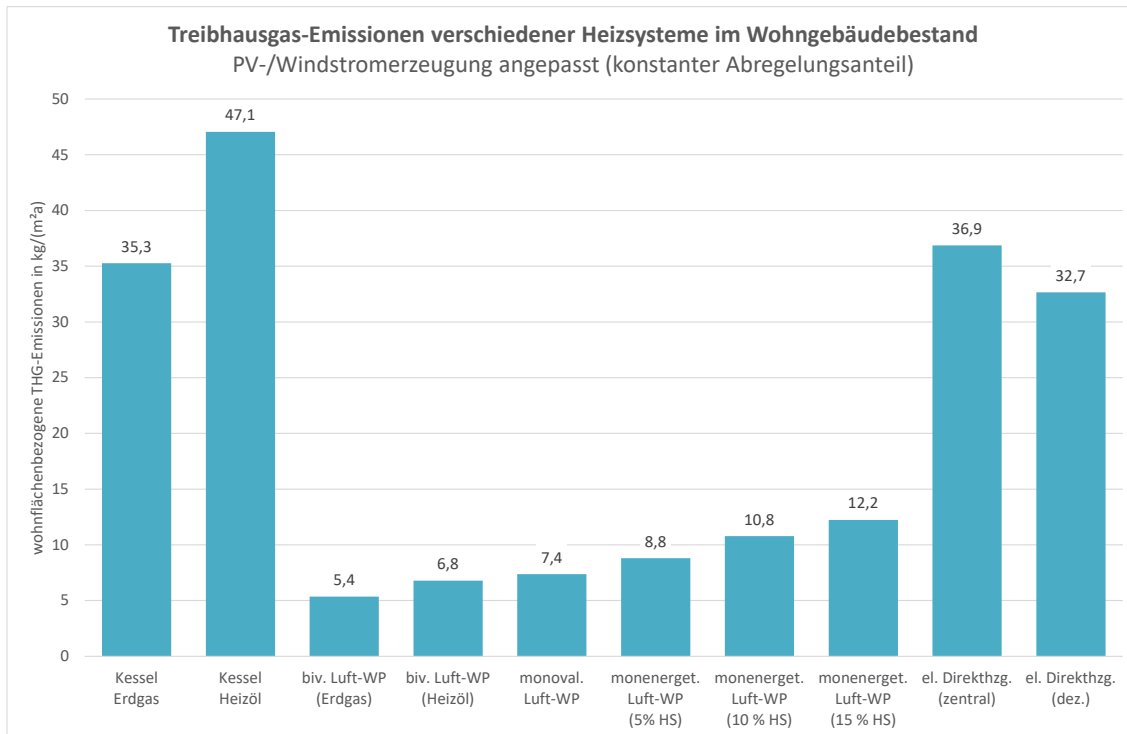
Wärmepumpen im elektrischen Energiesystem

Durch die Transformation der elektrischen Energieversorgung in Richtung einer Klimaneutralität stellen sich bei der Bewertung von Wärmepumpen und anderen Stromverbrauchern neue Herausforderungen, da wegen steigender Anteile der volatilen Stromerzeugung durch Photovoltaik- und Windkraftanlagen der in den verbleibenden Kraftwerken entstehende Brennstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen in zunehmendem Maße zeitabhängig sind. Für die Inanspruchnahme der Stromerzeugung durch die Verbraucher elektrischer Energie mit ihrem ebenfalls zeitabhängigen Lastprofil (etwa mit einer starken Lastspitze im Winter bei den Wärmepumpen) stellt sich damit die Frage, inwieweit Angebot und Nachfrage zeitlich zusammenpassen und ob der Ansatz eines durchschnittlichen Emissionsfaktors für die Bewertung der Wärmepumpen auf Dauer überhaupt noch sinnvoll ist.

Diese Fragestellung wurde mit einem im IWU entwickelten Simulationsmodell untersucht, das das Zusammenspiel von elektrischem Energieangebot und -nachfrage für jede Stunde des Jahres in einem zukünftigen Energiesystem mit deutlich höherem Anteil an Wind- und PV-Strom analysiert. Es zeigte sich, dass eine vereinfachte Bewertung mit statischen Treibhausgasemissionsfaktoren insbesondere für Wärmepumpen und direktelektrische Heizsysteme nicht zielführend ist. Besonders direktelektrische Heizsysteme werden durch eine Betrachtung mit Durchschnittswerten zu positiv bewertet. Auch die Verwendung von stündlichen Mittelwerten zeigt keine angemessene Bewertung verschiedener Heizsysteme. Erst die Analyse im Gesamtsystem vermittelt ein aussagekräftiges Bild über die tatsächliche Auswirkung unterschiedlicher Wärmeversorgungstechnologien. Für diese Untersuchung sind Annahmen bezüglich Stromverbrauch und Zubau regenerativer Energien zu treffen: Hier wurde davon ausgegangen, dass der Strom-Mehrbedarf der verschiedenen Heizsysteme mit einem entsprechenden Zubau der „erneuerbaren“ Stromerzeugung einhergeht, wobei am Ende immer der gleiche Prozentwert für die notwendige Abregelung nicht nutzbarer Solar- und Windstromüberschüsse erreicht wird.

Die Analysen zeigen, dass Wärmepumpen in einem zukünftigen elektrischen Energiesystem erhebliche Vorteile gegenüber reinen Heizkesselheizungen aufweisen. Außerdem ist der Einsatz von Wärmespeichern ein wichtiger Faktor für eine möglichst gute Ausnutzung des Solar- und Windstromangebots. Für monovalente und bivalente Wärmepumpen ergaben sich (in einer elektrischen Energiewirtschaft mit einem nutzbaren Solar- und Windstromanteil über 70 %) für die untersuchten Bestandswohngebäude im Mittel ähnliche, relativ niedrige Treibhausgas-Emissionen zwischen 5,4 und 7,4 kg/(m²a). Die bivalenten Anlagen weisen dabei trotz lokalem Brennstoffverbrauch sogar die etwas geringeren Emissionen auf, da weniger Energie in Spitzenlastkraftwerken bereitgestellt werden muss. Bei monoenergetischen Wärmepumpen, bei denen die Wärmepumpe durch einen Heizstab unterstützt wird, hängt die Bewertung von der Leistungsauslegung der Wärmepumpe und dem resultierenden Anteil des Heizstabs ab. Bei rechnerischen Heizstabanteilen an der Wärmeerzeugung zwischen 5 und 15 % ergeben sich Emissionen zwischen 8,8 und 12,2 kg/(m²a). Diese Werte sind deutlich höher als bei mono- und bivalenten Systemen, aber immer noch erheblich niedriger als bei den Erdgas- oder Heizöl-Referenzanlagen.

Für direktelektrische Heizsysteme liegen die Treibhausgas-Emissionen in den Untersuchungen dagegen im Bereich von 32,7 – 36,9 kg/(m²a) und damit in der Größenordnung des fossilen Erdgas-Referenzsystems (35,3 kg/(m²a)).



An kalten Wintertagen muss die von monovalenten Wärmepumpen und direktelektrische Heizsysteme beanspruchte elektrische Leistung in zusätzlichen Spitzenlast-Kraftwerken erzeugt werden. Dieser Mehrbedarf an elektrischer Leistung wird in den Untersuchungen für die monovalente Wärmepumpen zu ca. 50 W/m², für die monoenergetischen Wärmepumpen zwischen 59 und 63 W/m² und für direktelektrischen Systeme zwischen 70 und 78 W/m² abgeschätzt. Bei bivalenten Heizsystemen tritt ein solcher Mehrbedarf an elektrischer Kraftwerksleistung nicht auf, da die begleitenden Heizkessel die thermische Spitzenleistung bereitstellen können.

Wirtschaftlichkeit

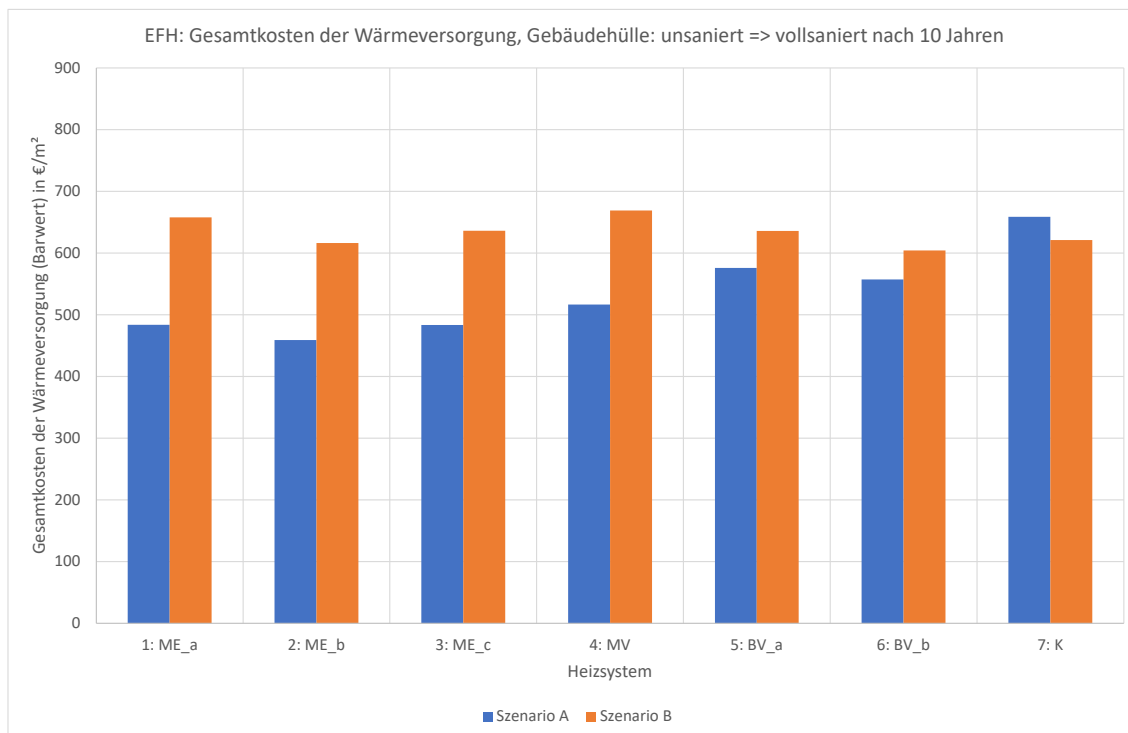
Um die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Konfiguration von Heizungsanlagen zu untersuchen, wurden die Kosten von Wärmepumpen aus der Felduntersuchung sowie weitere Quellen zu Kosten von Heizungsanlagen ausgewertet. Außerdem wurden auf Basis einer weiteren Untersuchung des IWU die zukünftigen Energiekosten im Zeitverlauf modelliert – einerseits für eine Entwicklung, die sich in Bezug auf Strom- und Brennstoffpreise und Netzentgelte günstig für die elektrischen Wärmepumpen darstellt (Szenario A) und am ehesten der aktuellen Rahmensetzung entspricht, andererseits für eine Entwicklung, die für grüne, klimaneutrale Brennstoffe günstig verläuft (Szenario B). In beiden Szenarien wird der Übergang zu einer klimaneutralen Energieversorgung bis zum Jahr 2045 erreicht.

Für ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus (jeweils vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtete Altbauten) werden über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die Kosten der Wärmeversorgung bei Modernisierung des Heizsystems im Startjahr 2025 betrachtet. Dabei werden die Investitionskosten für die neue Heizanlage (abzüglich der Fördermittel für Wärmepumpen) sowie die Barwerte der jährlichen Energiekosten und der Wartungs- und Instandhaltungskosten berücksichtigt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Gebäudehülle im Ursprungszustand unsaniert ist, und dass – beispielsweise entsprechend einem bestehenden Sanierungsfahrplan – in späteren Jahren eine energetische Teil- oder Vollmodernisierung stattfindet. Die zukünftigen Kosten des Wärmeschutzes (die auch von zukünftigen Fördermöglichkeiten abhängen würden) werden nicht in Anrechnung gebracht: Es geht hier also nicht um eine wirtschaftliche Gesamtoptimierung, sondern um die gezielte Untersuchung der Wärmeversorgungskosten für unterschiedliche Entwicklungspfade des Gebäudes.

Die Abbildung zeigt den Fall des Einfamilienhauses. Betrachtet werden sieben Alternativen der Heizungsmodernisierung: drei unterschiedlich ausgelegte monoenergetische Wärmepumpen (ME_a bis ME_c), eine monovalente Wärmepumpe (MV), zwei bivalente Wärmepumpen (BV_a, BV_b) sowie die Erneuerung des bestehenden Heizkessels (K). Im Beispiel wird angenommen, dass die Gebäudehülle nach 10 Jahren vollständig energetisch saniert wird, so dass ab diesem Zeitpunkt alle Wärmepumpen (zumindest annähernd) monovalent betrieben werden können.

Es zeigt sich, dass im Szenario A die monoenergetischen Wärmepumpenlösungen am günstigsten abschneiden. In Szenario B liegen die Kosten insgesamt etwas näher zusammen. Trotz der für den Wärmepumpeneinsatz pessimistischeren Ansätze erweist sich auch hier nicht der Heizkessel, sondern eine bivalente Wärmepumpenlösung (BV_b) am günstigsten.



Dieses Ergebnis – nämlich ein Vorteil für monoenergetische bzw. monovalente Wärmepumpen im Szenario A und für bivalente Wärmepumpen im Szenario B lässt sich aus den Untersuchungen zum Ein- und Mehrfamilienhaus generell ableiten. Es gilt auch dann noch, wenn der vorhandene Heizkessel im Betrachtungszeitraum gar nicht erneuert werden muss, so dass die Kosten in allen Varianten mit Heizkesseln noch geringer ausfallen. Im Szenario A rückt die günstigere bivalente Wärmepumpe (BV_b) damit noch näher als in der Abbildung an die monoenergetischen Lösungen heran, so dass sich die Ergänzung eines bestehenden Heizkessels durch die bivalente Wärmepumpe generell als empfehlenswert herausstellt – unabhängig davon, ob die reale Entwicklung eher Szenario A oder Szenario B folgt.

Im Hinblick auf monoenergetische Wärmepumpen lässt sich aus den Untersuchungen die Empfehlung ableiten, diese nicht zu knapp auszulegen. Der Deckungsbeitrag des Heizstabs sollte von vornherein einen Wert von rund 5 % nicht weit überschreiten. Dies gilt auch dann, wenn in späteren Jahren eine energetische Modernisierung der Gebäudehülle geplant ist: Eine deutlich kleinere Auslegung erweist sich nicht unbedingt als günstiger und kann zu deutlichen Nachteilen führen, wenn die ursprünglich avisierte energetische Sanierung der Gebäudehülle in späteren Jahren womöglich unterbleibt oder erst deutlich später als geplant realisiert werden kann. Unabhängig von Wirtschaftlichkeitsfragen ergeben sich durch die Reduzierung des Heizstaban-teils ohnehin immer positive Auswirkungen auf den Brennstoffverbrauch im Kraftwerkspark und die damit einhergehenden Treibhausgasemissionen.

2 Einleitung

Zur Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudebestand müssen die Energieverbräuche der Gebäude durch energetische Modernisierung minimiert und durch den Umstieg von fossilen auf regenerative Energieträger dekarbonisiert werden [Langfristszenarien 2021]. Parallel zur Bundesebene hat vor diesem Hintergrund die Hessische Landesregierung mit der Novelle des Hessischen Energiegesetzes im Jahr 2022 die klimapolitischen Ziele überarbeitet und strebt an, bis zum Jahr 2045 den Endenergieverbrauch von Strom und Wärme zu 100 % aus erneuerbaren Quellen zu decken [HEG 2022].

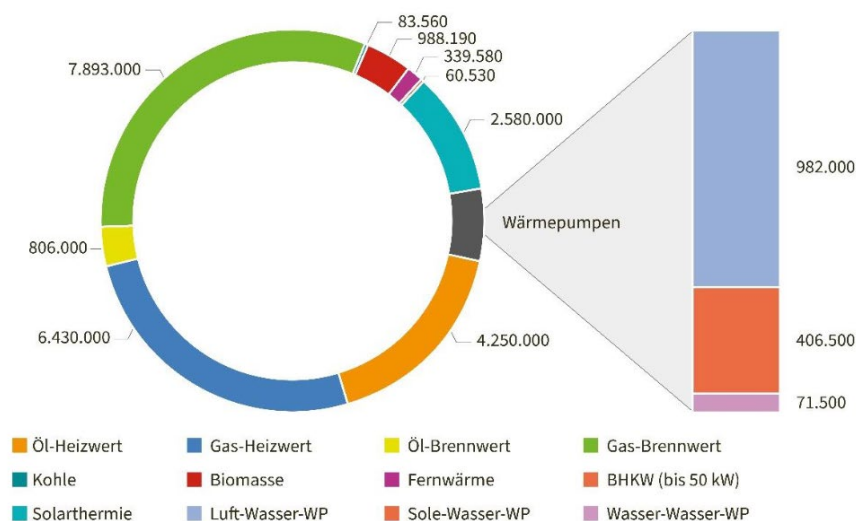
Im Folgenden werden neue Untersuchungen zitiert, die seit Veröffentlichung des Zwischenberichts [Großklos et al. 2023] erschienen sind. Ältere Untersuchungen wurden im Zwischenbericht ausgewertet.

2.1 Wärmeversorgung von Gebäuden mit Wärmepumpen

Bei der Dekarbonisierung des Wärmebedarfs stellen Wärmepumpen eine wichtige Technologie zur Verfügung, um regenerativen Strom – der im Winter hauptsächlich mit Windenergie erneuerbar produziert werden kann – für die Beheizung von Gebäuden effizient zu nutzen [Diefenbach et al. 2019]. Zwar dominieren Wärmepumpen in Neubauten (in Hessen stellten sie 2023 insgesamt 65 % der Anlagen bei den Hauptwärmeerzeugern [HMWEVW 2024]), im Gesamtbestand werden bisher aber nur 4,2 % der Gebäude mit Solar-, Geothermie- oder Umweltwärme beheizt [Destatis 2025]. Immerhin ist hier ein starker Anstieg bei der Heizungsmodernisierung zu verzeichnen, denn in früheren Jahren spielten Wärmepumpen auch hier kaum eine Rolle (vgl. [Cischinsky, Diefenbach 2018, Kap. 3.3.2]).

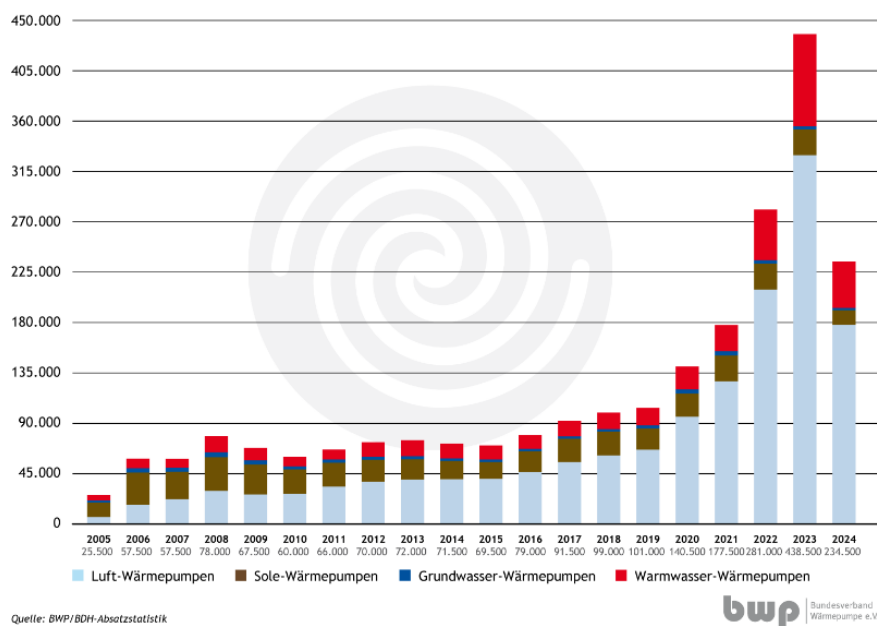
Die aktuelle Beheizungsstruktur im deutschen Gebäudebestand, wie sie in Bild 1 für das Jahr 2022 dargestellt ist [dena 2023], zeigt die Dominanz fossiler Energieträger. Gasheizungen stellen nach wie vor den größten Anteil dar, gefolgt von Ölheizungen, während Wärmepumpen trotz steigender Absatzzahlen noch einen vergleichsweise geringen Marktanteil aufweisen.

Bild 1: Beheizungsstruktur im deutschen Gebäudebestand, Grafik aus [dena 2023]



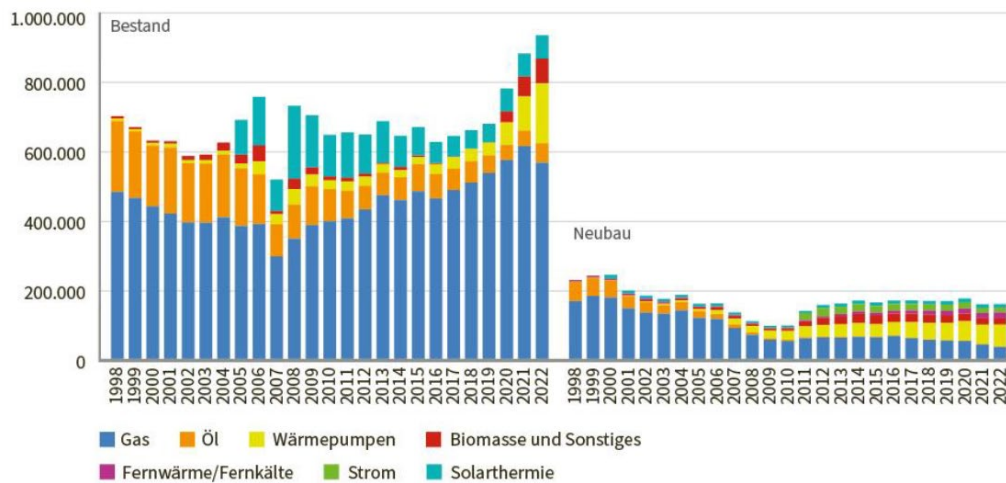
Die vom Bundesverband Wärmepumpe (BWP) veröffentlichten Marktdaten zeigen bis 2023 einen kontinuierlichen Aufwärtstrend in den Absatzzahlen [BWP 2024a] (siehe Bild 2). Der Absatz von Heizungswärmepumpen (ohne Wärmepumpen ausschließlich für die Warmwasserbereitung), der von 236.000 (2022) auf 356.000 im Jahr 2023 gestiegen war, ist zwar 2024 wieder auf 193.000 gesunken [BWP 2025]. Der besonders starke Anstieg im Jahr 2023 ist allerdings im Zusammenhang mit dem vorangegangenen „Krisenjahr“ 2022 zu sehen (Beginn des Ukraine-Krieges, Befürchtung einer Gasmangellage). Insofern war eine anschließende „Normalisierung“ womöglich zu erwarten. Immerhin ist aber festzuhalten, dass mit den aktuellen Absatzzahlen der vergangenen Jahre das Ziel der Bundesregierung von 500.000 Wärmepumpen pro Jahr [BMWK 2022] – vor allem im Gebäudebestand – noch nicht erreicht wird.

Bild 2: Absatzentwicklung Wärmepumpen in Deutschland aus [BWP 2024a]



Die Absatzstatistiken für Wärmeerzeuger verdeutlichen jedoch einen wichtigen Trend: Sowohl im Neubau als auch bei der Modernisierung im Bestand gewinnen Wärmepumpen kontinuierlich Marktanteile. Im Neubaussegment haben sich Wärmepumpen bereits als bevorzugte Heizungstechnologie etabliert, während im Bestandsmarkt die Transformation bisher noch langsamer voranschreitet (Bild 3).

Bild 3: Absatzzahlen für Wärmeerzeuger im Neubau und Bestand, Grafik aus [dena 2023]

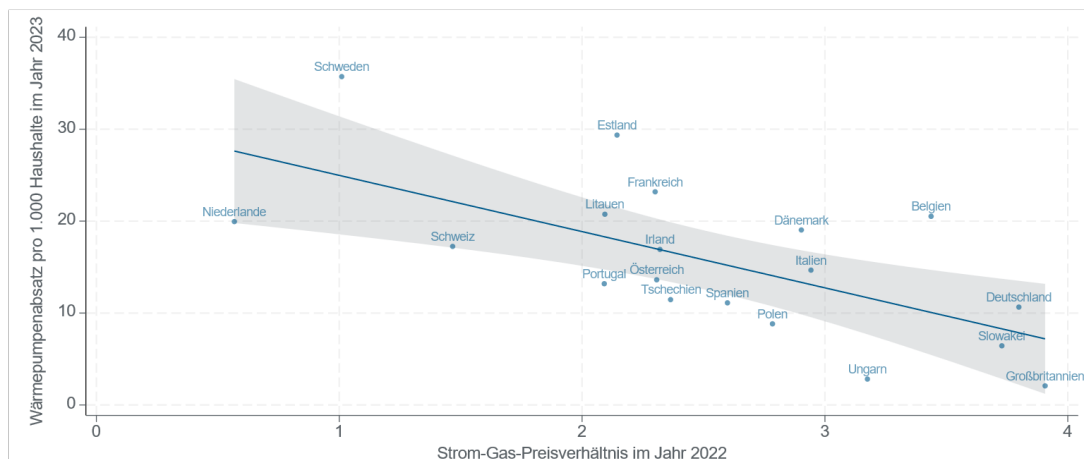


2.2 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen – ein Blick in die Literatur

Trotz dieser grundsätzlich positiven Entwicklung wird in einer Studie der KfW [Letz et al. 2025] gezeigt, dass im europäischen Vergleich Deutschland eher ungünstig abschneidet: Mit lediglich 11 Wärmepumpen je 1.000 Haushalte liegt Deutschland deutlich hinter den skandinavischen Vorreiterländern zurück. Norwegen führt mit 57 Geräten je 1.000 Haushalte die europäische Statistik an (nicht in Bild 4 zu sehen), was die großen Unterschiede in der Marktdurchdringung verdeutlicht. Ein zentraler Erklärungsfaktor für diese Diskrepanzen liegt im Verhältnis von Strom- zu Gaspreisen, wie die KfW-Studie belegt. Die statistische Analyse zeigt einen Zusammenhang zwischen einem günstigen Strompreisverhältnis und einer hohen Wärmepumpenverbreitung. Diese Korrelation gilt nicht nur im europäischen Ländervergleich, sondern manifestiert sich auch innerhalb Deutschlands in Form regionaler Unterschiede. Gebiete mit einem vorteilhafteren Preisverhältnis weisen einen deutlich höheren Wärmepumpenanteil im Neubau auf. Diese Erkenntnisse zeigen die erhebliche Bedeutung der Energiepreisgestaltung für die Transformation des Wärmemarktes.

Bild 4: Abhängigkeit zwischen Strom-Gas-Preisverhältnis und Wärmepumpenabsatz in Europa, Grafik aus [Letz et al. 2025]

Jeder blaue Punkt steht für ein Land in Europa. Die blaue Linie zeigt die lineare Korrelation und die graue Fläche deren 95 %-Konfidenzintervall.

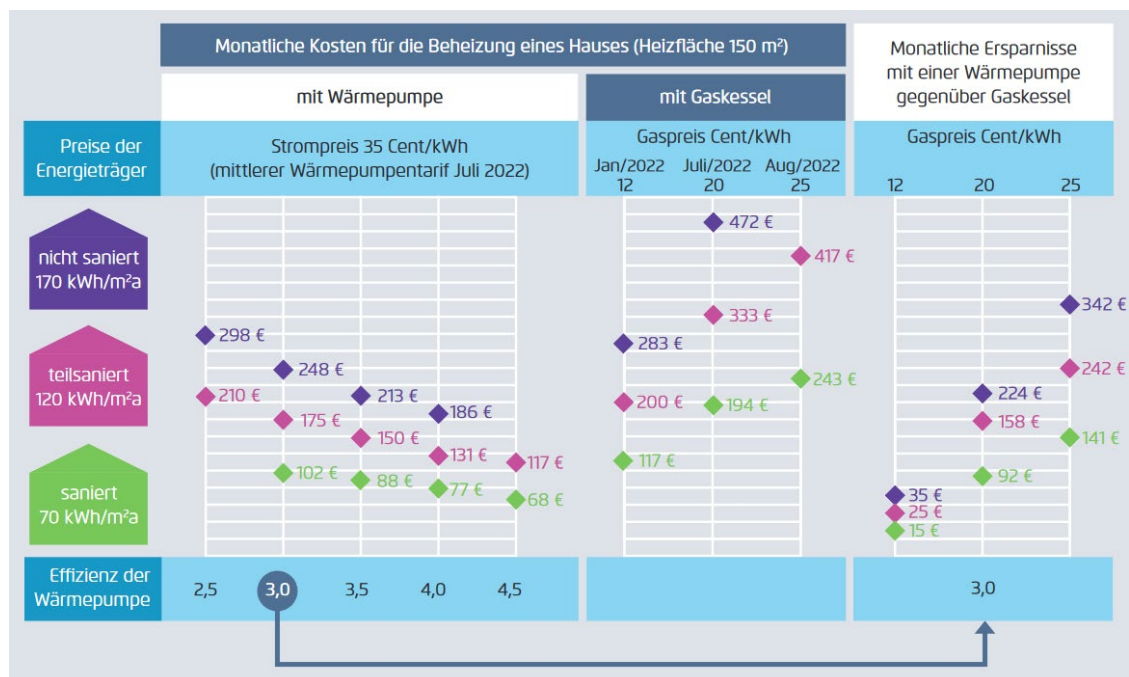


In Altbauten bestehen aber Hemmnisse bei der Installation von Wärmepumpen. Grundsätzlich ist zu empfehlen, dass das Gebäude zuerst energetisch modernisiert wird, bevor eine Wärmepumpenanlage eingebaut wird. Durch dieses „Efficiency First“ wird der Energiebedarf minimiert und die Wärmepumpe kann auf den geringeren Wärmebedarf dimensioniert werden, so dass sie kostengünstiger und nach zukünftigen Sanierungsmaßnahmen nicht überdimensioniert ist, was langfristig zu einem ineffizienten Betrieb mit höherem Energieverbrauch und höheren Energiekosten führen würde.

Die wirtschaftliche Dimension der Wärmepumpennutzung wurde besonders während der Energiepreiskrise 2022 deutlich. Eine Studie vom FIW München und vom Ifeu [Holm et al. 2023] liefert hierzu Zahlen, die den direkten Zusammenhang zwischen Gebäudeeffizienz, Heiztechnologie und Kostenbelastung aufzeigen. In ungedämmten Altbauten mit Gasheizung entstanden den Bewohnern Mehrkosten von 1.574 € für MFH und 2.464 € für EFH. Diese Belastungen waren sechs- bis neunmal höher als in optimal gedämmten Gebäuden der Effizienzklasse A+, wo die Mehrkosten bei nur 170 € beziehungsweise 370 € lagen. Bei Wärmepumpenheizungen fielen die krisenbedingten Mehrkosten deutlich moderater aus: In ungedämmten Gebäuden betrugen sie 401 € im MFH und 849 € im EFH, während sie in gut gedämmten Gebäuden auf minimale 41 € bzw. 83 € sanken. Diese Zahlen verdeutlichen nicht nur die Resilienz von Wärmepumpensystemen gegenüber Energiepreisschwankungen, sondern auch die zentrale Bedeutung der Gebäudeeffizienz für die Minimierung der Energiekosten.

Das Öko-Institut und Fraunhofer ISE [Öko-Institut & Fraunhofer ISE 2022] vertiefen diese Analyse durch die Darstellung des direkten Zusammenhangs zwischen dem Gas-Strom-Preisverhältnis und der erforderlichen Wärmepumpeneffizienz (Bild 5). Ihre Berechnungen zeigen, dass bei einem ungünstigen Preisverhältnis die JAZ der Wärmepumpe entsprechend höher sein muss, um wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit gegenüber fossilen Heizsystemen zu gewährleisten. Diese Erkenntnis unterstreicht die Notwendigkeit sowohl technischer Optimierungen als auch energiepolitischer Rahmenbedingungen.

Bild 5: Vergleich der Betriebskosten für ein EFH mit und ohne Wärmepumpe, für unterschiedliche Standards, Grafik aus [Öko-Institut & Fraunhofer ISE 2022]



Vor diesem Hintergrund formuliert die KfW-Studie konkrete politische Handlungsempfehlungen zur Förderung der Wärmepumpenverbreitung. Ein steigender CO₂-Preis würde die Wirtschaftlichkeit zugunsten strombasierter Heizsysteme verschieben. Gezielte Förderungen können Hemmnisse bei der Investition abbauen

und die anfänglich höheren Anschaffungskosten kompensieren. Besonders vielversprechend erscheinen flexible Stromtarife, die es Wärmepumpenbetreibern ermöglichen, von günstigen Strompreisen in Zeiten hoher erneuerbarer Stromerzeugung zu profitieren. Ergänzend betont die Studie die Bedeutung einer ausreichenden Handwerkerverfügbarkeit und gezielter Informationskampagnen. Der parallele Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung wird als weitere Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Wärmepumpenstrategie identifiziert.

Auch eine aktuelle Studie des IWU geht auf die Frage von Energiepreisgestaltung und begleitenden Fördermaßnahmen auf dem Weg zur Klimaneutralität ein [Diefenbach et al. 2025]: Demnach ist zu erwarten, dass das Ziel, durch eine entsprechend günstige Relation von Strom- und Brennstoffpreisen die laufenden Betriebskosten von Wärmepumpen geringer zu halten als in konkurrierenden Kesselheizungen, in unterschiedlichen Energiepreisszenarien erreicht werden kann – auch unter eher optimistischen Annahmen für die Preisentwicklung „grüner“ Brennstoffe. Gleichzeitig wird auf die Nachteile einer Strategie hingewiesen, die die erforderliche Dynamik zur Markteinführung der Wärmepumpen vorrangig durch niedrige Strompreise erreichen will: Auf diesem Weg besteht die Gefahr, dass das Ziel der Energieeffizienz konterkariert wird, denn Wärmedämmmaßnahmen werden weniger attraktiv. Die Studie weist vor diesem Hintergrund auf die Notwendigkeit eines ausgewogenen Instrumentenmix hin, in dem neben der Energiepreisgestaltung auch die Förderung weiterhin eine wichtige Rolle einnehmen muss.

2.3 Gebäude- und Systemintegration

Die Integration von Wärmepumpen in Bestandsgebäude stellt eine der zentralen technischen und planerischen Herausforderungen der Wärmewende dar. Die Komplexität dieser Aufgabe ergibt sich aus der Heterogenität des Gebäudebestands, den unterschiedlichen bauphysikalischen Eigenschaften und den bestehenden Heizungssystemen, die ursprünglich für deutlich höhere Vorlauftemperaturen konzipiert wurden.

Die Studie des Umweltbundesamtes [UBA 2024] liefert hierzu Erkenntnisse auf Basis simulationsbasierter Analysen, die verschiedene Szenarien der Wärmepumpenintegration in Bestandsgebäuden untersuchen. Die Simulationen, durchgeführt in Stundenschritten mit einem vereinfachten Wärmepumpenmodell, analysieren systematisch die Einflüsse verschiedener Parameter wie Wärmeschutz, Wärmepumpentyp, Temperaturen im Heizungskreis, Trinkwarmwassertemperatur sowie Zirkulationssysteme und Nachtabschaltung.

Ein Ergebnis dieser Untersuchungen ist die Erkenntnis, dass Jahresarbeitszahlen von durchschnittlich 3,1 auch im Gebäudebestand gut erreichbar sind. Die Studie identifiziert konkrete Optimierungspfade: Effizienzsteigerungen lassen sich durch systematische Systemoptimierung, die Reduzierung der Vorlauftemperaturen, energetische Sanierung der Gebäudehülle und den gezielten Austausch von Teilen der Heizungsanlage realisieren. Besonders interessant ist die Analyse von neun verschiedenen Varianten, die zeigt, wie unterschiedliche Maßnahmenkombinationen zu signifikanten Verbesserungen führen können.

Eine umfangreiche Feldstudie zur Wärmepumpeneffizienz mit Praxisdaten wurde von [Brudermueller et al. 2025] durchgeführt. Mit über 1.000 untersuchten Wohngebäuden in Zentraleuropa bietet sie einen Einblick in die tatsächliche Performance von Wärmepumpen unter realen Betriebsbedingungen, allerdings ist die Aufteilung der Anlagen auf Neubauten und Bestandsgebäude nicht dokumentiert und auch die Jahresarbeitszahlen der Anlagen sind nicht angegeben. Die Ergebnisse offenbaren eine erhebliche Bandbreite in der Effizienz und decken systematische Probleme auf: 17 % der Luft-Wasser-Wärmepumpen und 2 % der Erdreich-Wärmepumpen erfüllen die europäischen Effizienzstandards nicht und sind optimierungsbedürftig. Diese Diskrepanz zwischen Labortests und Praxisbetrieb unterstreicht die Bedeutung einer sorgfältigen Planung und Installation.

Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist die Identifikation von Überdimensionierung als häufiges Phänomen. Etwa 10 % der untersuchten Anlagen sind überdimensioniert, was gegebenenfalls zu ineffizientem Taktverhalten und reduzierter Lebensdauer führen kann. Diese Erkenntnis verdeutlicht die Vorteile präziser Heizlastberechnungen und einer auf das spezifische Gebäude abgestimmten Anlagenauslegung. Allerdings liefert

die Studie keine Angaben zum energetischen Zustand der Gebäude bzw. ob es sich um Neubauten oder Bestandsgebäude handelt.

In Mehrfamilienhäusern stellt vor allem die Warmwasserbereitung aufgrund des Temperaturniveaus eine Herausforderung für die Wärmepumpe dar. Untersuchungen hierzu finden sich z. B. in [Bongs et al. 2022], [Kropp et al. 2024], [Graf et al. 2024] oder [Mercker et al. 2025]. Es fehlen bisher aber noch Auswertungen zur Effizienz größerer Gebäudebestände mit Wärmepumpen in Bestandsmehrfamilienhäusern. Einzelne Anlagen sind z. B. in [Lämmle et al. 2023] oder [Neubert et al. 2024] dargestellt.

[Jurkschat et al. 2023] haben Daten für 100 Mehrfamilienhäuser mit Heizkörpern ausgewertet. Analysiert wurden die Vorlauftemperaturen und wie die Effizienz der Wärmepumpen durch Begrenzung der maximalen Heizlast (Reduktion des Medians der Vorlauftemperatur um 7 K), die zeitliche Lastverschiebung (Reduktion des Medians der Heizlast um 14 %) und eine gleichmäßige Nutzung bei mehreren Heizkörper im Raum verbessert werden kann. Die Auswertungen basieren auf Daten von Abrechnungsunternehmen und Temperaturen, die aus Heizkostenverteilern abgeleitet wurden. Angaben zur Jahresarbeitszahlen der Anlagen finden sich in der Publikation jedoch nicht.

Eine Studie von FIW/Ifeu [Holm et al. 2023] beleuchtet einen weiteren kritischen Aspekt der Systemintegration: das Zusammenspiel von Gebäudedämmung und Wärmepumpentechnologie. Die Studie stellt heraus, dass diese beiden Säulen der Wärmewende nicht isoliert betrachtet werden sollten. Auf Gebäudeebene dokumentiert die Studie eine bemerkenswerte Hebelwirkung: Eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um 18 % durch verbesserte Dämmung kann zu einer Heizkostensenkung von 37 % führen. Dieser überproportionale Effekt entsteht insbesondere auch durch die gleichzeitige Effizienzsteigerung der Wärmepumpe bei niedrigeren Systemtemperaturen.

Die technischen Herausforderungen beim Wärmepumpeneinbau korrelieren direkt mit der thermischen Qualität der Gebäudehülle. Je schlechter der Dämmstandard, desto komplexer werden die erforderlichen Anpassungen am Heizungssystem. Die Ifeu-Studie empfiehlt daher einen strategischen Ansatz: die schrittweise Ertüchtigung von Gebäuden nach dem "NT ready-Standard" (Niedertemperatur-ready). Dieser Standard definiert Maßnahmen, die ein Gebäude für den effizienten Betrieb mit Niedertemperatursystemen vorbereiten, ohne dass sofort eine vollständige Sanierung erforderlich ist. Dies ermöglicht einen pragmatischen, wirtschaftlich vertretbaren Transformationspfad.

Auf der Ebene des Energiesystems zeigt die Ifeu-Studie weitere Zusammenhänge auf. Die Kombination aus verbessertem Wärmeschutz und Wärmepumpentechnologie führt nicht nur zu geringeren Energieverbräuchen, sondern auch zu einer "deutlichen Entlastung der Stromnetze". Diese Entlastung resultiert aus zwei Faktoren: Erstens sinkt die benötigte Heizleistung und damit die maximale elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpen. Zweitens erhöht sich die thermische Speicherkapazität gut gedämmter Gebäude, was flexiblere Betriebsweisen ermöglicht. Die Studie betont, dass die Wärmepumpen-Offensive nur dann erfolgreich sein kann, wenn das "Spannungsdreieck aus Angebot an erneuerbarer Energie – Anlagentechnik – Wärmedämmung in allen Punkten ausbalanciert" ist.

Die Studie [Bettgenhäuser et al. 2024] ergänzt diese Perspektive um die Rolle von Hybridwärmepumpen als Übergangstechnologie. Diese Systeme, die eine Wärmepumpe mit einem konventionellen Kessel kombinieren, bieten eine pragmatische Lösung für Gebäude mit besonders hohen Vorlauftemperaturanforderungen. Sie ermöglichen einen schrittweisen Übergang zur erneuerbaren Wärmeversorgung, ohne dass sofortige umfangreiche Gebäudesanierungen erforderlich sind. Die Studie betont jedoch, dass dies nur eine Brückenlösung darstellt: Mittelfristig sollten auch diese Gebäude soweit modernisiert werden, dass ein effizienter monovalenter Wärmepumpenbetrieb möglich wird.

Untersuchungen des IWU [Diefenbach et al. 2019, 2025] kommen demgegenüber zu dem Ergebnis, dass Hybridwärmepumpen das Potential haben, auch längerfristig eine relevante Rolle auf dem Weg zu einer klimaneutralen Wärmeversorgung zu spielen: Zwar werden in Hybridsystemen weiterhin Brennstoffe benötigt, aber dies gilt indirekt auch für monovalente Wärmepumpen: Bei diesen findet der Brennstoffverbrauch in

Kraftwerken statt, mit denen der notwendige Lastausgleich in einer von Solar- und Windstrom geprägten elektrischen Energiewirtschaft gewährleistet wird. Diese Rolle übernimmt in Hybridsystemen der Heizkessel. Die Studie von [Brudermueller et al. 2025] unterstreicht schließlich die zentrale Rolle digitaler Technologien, informierter Nutzer und geschulter Installateure für eine erfolgreiche Wärmewende. Die Autoren identifizieren Wissensdefizite auf verschiedenen Ebenen – von der Planung über die Installation bis zum Betrieb – als wesentliche Hindernisse für die optimale Performance von Wärmepumpensystemen. Sie fordern daher umfassende Schulungsprogramme, verbesserte Planungstools und nutzerfreundliche Monitoring-Systeme. Nur durch die Kombination technischer Innovation mit Wissenstransfer und kontinuierlicher Optimierung kann nach Ansicht der Autoren das volle Potenzial der Wärmepumpentechnologie im Gebäudebestand erschlossen werden.

2.4 Untersuchungsansatz im Forschungsprojekt

Vor dem Hintergrund der Notwendigkeit Hürden bei der Integration von Wärmepumpen in un- bzw. teilsanierten Bestandsgebäuden zu reduzieren und die Praxis des Wärmepumpeneinsatzes besonders in Hessen zu untersuchen, wurde das Projekt „Wärmepumpenpraxis im Hessischen Wohngebäudebestand“ vom IWU initiiert und vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlicher Raum gefördert. Das Projekt unterteilte sich in zwei grundsätzliche Arbeitspakete mit folgenden strategischen Zielsetzungen:

Felduntersuchung

- Ansprache von Hauseigentümern zum Finden von Bestandswohngebäuden mit Wärmepumpe als Heizungssystem
- Ortsbegehungen zur Erhebung von Basisdaten von Gebäude und Anlagentechnik und zur Überprüfung der Eignung der Gebäude
- Einordnung des energetischen Standards der Gebäude
- Auswertung der Kosten der Anlagen
- Erhebung von Verbrauchsdaten zur Bestimmung der Effizienz der Anlagen über bis zu 2 Jahre
- Ortsbegehung in 10 Gebäuden zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen
- Zweimalige Befragungen der Eigentümer zu Planung, Umsetzung und Betrieb der Wärmepumpe sowie zur Motivation und Zufriedenheit mit den Anlagen
- Auswertung und Einordnung der individuellen Sanierungsfahrpläne
- Auswertung und Einordnung der Jahresarbeitszahlen

Allgemeine Analysen

- Zusammenstellen bestehender Praxiserfahrungen
- Erstellung von Versorgungsvarianten mit Wärmepumpen
- Definition und Beplanung von Mustergebäuden für die Modellrechnungen
- Bewertung von Wärmepumpen im Energiesystem
- Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen
- Erstellung einer Broschüre für Endverbraucher

Die ersten Ergebnisse des Projekts, insbesondere der vorbereitenden Untersuchungen, wurden bereits im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023] veröffentlicht und können dort nachgelesen werden. Die wesentlichen Ergebnisse sind in diesem Bericht zusammengefasst wiedergegeben. Schwerpunkte des vorliegenden

Berichts sind die Dokumentation und Auswertung von Messdaten und Befragungsergebnissen von mindestens 48 Wärmepumpenanlagen im Bestand in Hessen und Untersuchungen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen .

Informationen zum Wärmepumpeneinsatz in Bestandsgebäuden sind auch in die Erstellung einer separaten Informationsbroschüre für Hauseigentümer eingeflossen („Wärmepumpen für bestehende Wohngebäude“, [Swiderek et al. 2024]), die im Projektverlauf an die aktuellen Entwicklungen der Förderlandschaft angepasst wurde.

Das Projekt wurde vom Institut Wohnen und Umwelt durchgeführt, als externe Experten waren beteiligt:

- Nikolai Jelgin, Günter Fischer GmbH, Oberursel (Beplanung Mustergebäude, beispielhafte Kostenermittlung)
- Hans-Jürgen Seiffert, Ingenieurbüro für Wärmepumpensysteme, Lößnitz (Beratung, Beplanung Mustergebäude und Vor-Ort-Termine)

Zur energetischen Bilanzierung der Beispielgebäude des Forschungsprojektes wurde das Programmpaket ZUB Helena Ultra der ZUB Systems GmbH Kassel verwendet, für dessen Bereitstellung sich die Autoren bedanken möchten.

3 Felduntersuchung

3.1 Vorgehen in der Felduntersuchung

Die Teilnehmer (Gebäudeeigentümer) der Feldstudie wurden vom IWU über Pressemeldungen, Anzeigen, Newsletter-Beiträge ab Ende 2022 bis etwa Herbst 2023 akquiriert. Bei 71 Teilnehmern wurden Ortsbegehungen durchgeführt, die etwa 1,5 - 2 Stunden dauerten. Bei diesen Terminen wurde einerseits eine Befragung der Eigentümer durchgeführt, deren Auswertung in Abschnitt 3.5 dokumentiert ist. Des Weiteren wurden die Grunddaten der Gebäude erhoben und der energetische Zustand erfasst. Weiterhin wurde die Anlagentechnik begutachtet und aus den Steuerungen der Heizungsanlagen soweit möglich alle Einstellparameter entnommen und dokumentiert. Als wichtigster Punkt wurde die Zähler (Strom, Wärme) identifiziert und aufgenommen, die die Teilnehmer regelmäßig ablesen und an das IWU übermitteln sollten.

Im Vorfeld waren die grundlegenden Daten der Gebäude abgefragt worden. Somit lagen schon vor dem Ortstermin meist das Baualter, die Wohnfläche, die Art des Gebäudes (EFH/DH/ZFH/MFH) und eine erste Aussage über die sanierten Bauteile vor. Beim Ortstermin wurden diese Daten dann mit weiteren Informationen zum Gebäude angereichert. Teilweise lagen Bauunterlagen mit U-Werten zu den Bestandsbauteilen vor oder auch Unterlagen zu den durchgeführten Sanierungsschritten. Alle Informationen wurden zusammengeführt und in das Tool Energieprofil-XL (EP-XL) [Loga EP-XL 2023] zur Auswertung überführt. Die Bauteilflächen wurde alle einheitlich über das in der Bilanzierungssoftware enthaltene Flächenschätzverfahren ermittelt, es wurden keine Einzelflächen vor Ort aufgenommen.

Die genauen Bezeichnungen der Wärmepumpen wurde anhand der Typenschilder oder aus den vorliegen Unterlagen ermittelt. Die Anlagenhydraulik konnte aus den Unterlagen oder nach in Augenscheinnahme bestimmt werden.

3.1.1 Erhebung der Energieerzeugungs- und -verbrauchsdaten

Bei den Ortsterminen wurden die Zähler identifiziert, die für die Auswertung benötigt wurden. Die minimale Anforderung für eine Teilnahme bei der Felduntersuchung waren die Angaben zum Gesamtstromverbrauch der Wärmepumpe und der erzeugten gesamten Wärmemenge.

Der Stromverbrauch der Wärmepumpenanlage kann aus einem Stromzähler z. B. einem Zwischenzähler oder Zähler für einen Wärmepumpen-Tarif (EVU-Zähler¹) oder auch als Angabe aus der Steuerung bzw. App der Wärmepumpe entnommen werden.

Die erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe konnte aus der Wärmepumpensteuerung oder einem geeigneten Wärmezähler (WMZ) entnommen werden.

Wenn Daten vorhanden waren, wurden folgende Werte aufgenommen (soweit verfügbar):

- Stromverbrauch Gesamt für
 - Warmwasser
 - Heizung
 - El. Zusatzheizung WW
 - El. Zusatzheizung Heizung
- Wärmeerzeugung Gesamt für
 - Heizung
 - Warmwasser

¹ EVU – EnergieVersorgungsUnternehmen

- El. Zusatzheizung WW
- El. Zusatzheizung Heizung
- 2. Wärmeerzeuger bzw. ggf. dezentraler Wärmeerzeuger (Kaminofen usw.)
 - Wärmeerzeugung bzw. Brennstoffverbrauch gesamt (kWh, m³ Gas, kg Holz)
 - Wärmeerzeugung WW
 - Wärmeerzeugung Heizung

Die Daten lagen in unterschiedlichen Formaten vor:

- Kontinuierliche Zählerdaten (Stromzähler, Gaszähler, Gerätesteuerung, WMZ, App)
- Monatswerte aus Steuerung (oder Webseite bzw. App)
- Wochenwerte aus Steuerung (oder Webseite bzw. App)
- Schätzungen der Eigentümer (Holzverbrauch)

In Tabelle 1 ist die Verteilung der Datenquellen aufgeführt. Bei der Wärmemengenermittlung sind drei Anlagen vorhanden, die die erzeugte Wärme über Wärmezähler (WMZ) erfassen. Davon ist eine Anlage (Teilnehmer 84) vorhanden, bei der auch die Wärmemengen intern in der Wärmepumpe und extern mit zwei WMZ erfasst werden. Da die Daten in der Jahressumme nur leicht abweichen, wurden in der Auswertung nur die internen Daten aus der Wärmepumpe verwendet. Eine Detailauswertung der Wärmemengenermittlung ist in Kapitel A.1 zu finden.

Tabelle 1: Übersicht der Datenquellen für Strom und Wärme für die Auswertung

	Anzahl
Stromdaten nur aus WP	17
Stromdaten nur aus Zähler (EVU- oder Zwischenzähler)	11
Stromdaten aus WP und Zähler (EVU- oder Zwischenzähler)	11
Wärmemengen aus der WP	38
Wärmemengen aus Wärmezählern (WMZ)	3
Wärmemengen aus WP und WMZ	1

Um das Verfahren der Datenaufnahme zu testen, wurden in einem Pre-Test in Darmstadt und der näheren Umgebung drei Testhäuser besucht und eine Datenaufnahme durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass es viele mögliche Variationen zur Datenaufnahme und der Datenverfügbarkeit gibt. Daher wurde für jeden Teilnehmer eine individuelle Excel-Tabelle erstellt, in die die Daten eingetragen werden sollten. Die meisten Teilnehmer sendeten die Excel Datei vierteljährlich nach Aufforderung zu, einige Teilnehmer hatten schon eigene Tabellen, die leicht angepasst wurden; zwei Teilnehmer trugen die Daten händisch in eine ausgedruckte Tabelle ein und sendeten dann ein Foto mit den neusten Zahlen zu.

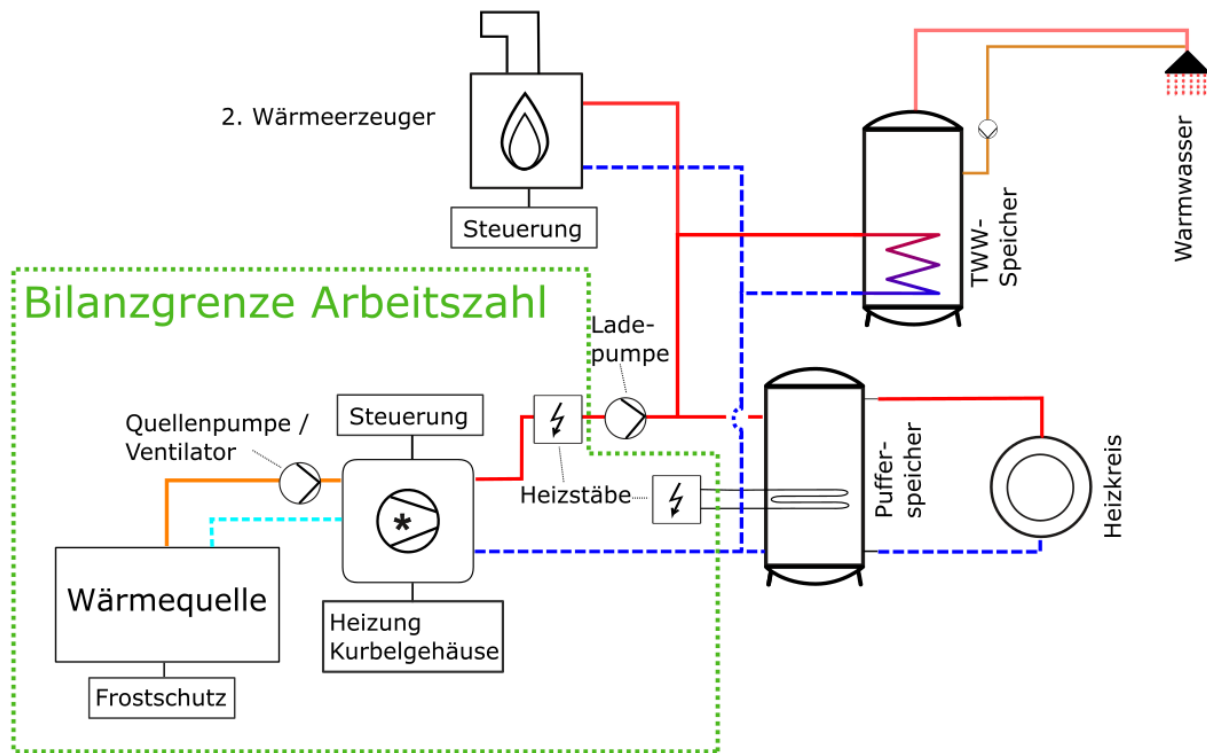
Allen Datensätzen (Zählerstände, Wochenwerte, Monatswerte) wurden zu Monatswerten umgerechnet, die dann in eine zentrale Auswertung einfließen.

3.1.2 Bilanzrahmen für die Ermittlung der Arbeitszahlen

Die Arbeitszahl soll die Bewertung und den Vergleich der Wärmepumpenheizung im Gebäude ermöglichen. Sie beschränkt sich daher auf die Energieverbräuche, die zum Heizbetrieb benötigt werden. Stromverbräuche

die, wie auch bei anderen Heizungsanlagen, zur Wärmeverteilung gehören, werden daher nicht berücksichtigt. Sind diese Verbräuche in den Messwerten oder den Anzeigewerten der Wärmepumpen enthalten (siehe Kapitel 3.1.4), werden sie über Korrekturfaktoren (siehe Anhang B) herausgerechnet. In Bild 6 ist der Bilanzrahmen grafisch dargestellt.

Bild 6: Bilanzrahmen bei der Ermittlung der Arbeitszahlen



Bilanzrahmen Stromverbrauchsseite:

Kompressor, Quellenerschließung (Lüfter, Pumpen), alle weiteren Stromverbraucher der Quellenerschließung (Steuerungen, Frostschutz, Kurbelwellenheizung, Abtauung usw.), Steuerung der Wärmepumpe, elektrische Zusatzheizungen.

Nicht enthalten sind: Speicherladepumpen, Heizkreispumpen, Zirkulationspumpen, Frischwasserstationen, Mischer in den Heizkreisen usw.

Bilanzrahmen Wärmeseite:

Das gleiche Prinzip wird für die Wärmeerzeugungsseite angewendet. Hier werden alle Wärmemengen berücksichtigt, die von der Wärmepumpe an das Gebäude bzw. die Verteilung abgegeben werden:

Wärmeabgabe Kompressor an die Verteilung sowie Wärmeabgabe elektrische Zusatzheizungen abzüglich Abtauenergie bei Luft-Wasser-Wärmepumpen.

Der Bilanzrahmen bietet den Vorteil, dass alle verwendeten Daten grundsätzlich im Wärmepumpengerät bilanziert werden können und so als einheitlicher Bilanzrahmen herstellerübergreifend angewendet werden kann.

Der gewählte Bilanzrahmen entspricht im Rahmen der vorhandenen Unsicherheiten weitgehend der Bilanzgrenze AZ3 in [Günther et al. 2020, Seite 64]. Im Vergleich zu den Systemgrenzen Jahresarbeitszahl+ (JAZ+) und Wärmenutzungsgrad (WNG) in [Bernal et al. 2023] in der Schweiz ordnen sich der Bilanzrahmen in dieser Untersuchung zwischen JAZ+ und WNG ein, da externe Heizstäbe, wie in Bild 6 gezeigt, mit berücksichtigt

werden, die Ladepumpe für Puffer bzw. Heizsystem jedoch nicht. Die Ergebnisse in dieser Untersuchung sind somit eher dem WNG in [Bernal et al. 2023] zuzuordnen.

3.1.3 Anforderungen der BEG-Förderung an die Energiedatenerfassung

Die Bundesförderung energieeffiziente Gebäude (BEG) schreibt eine Erfassung der Energiedaten bzw. eine Energieeffizienzanzeige für alle förderfähigen Wärmepumpen vor. Diese können grundsätzlich für die Auswertung der Effizienz der Wärmepumpen genutzt werden. Die Anforderungen des BEG [BAFA 2020, Seite 16] sind jedoch nicht eindeutig, lassen Interpretationsspielraum und haben sich im Laufe der Zeit auch geändert, so dass die Bilanzrahmen der verschiedenen Hersteller leicht unterschiedlich festgelegt sein können. Teilweise sind auch die Bilanzrahmen bei einem Hersteller bei unterschiedlichen Modellen, Steuerungen oder auch Softwareversionen verschieden. In Anhang B.1 sind die Anforderungen des BEG weiter ausgeführt.

Für die Berechnung der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen standen fast keine Wärmezähler und nur teilweise Stromzähler zur Verfügung. Aus diesem Grund mussten für die Auswertungen in der Regel die Daten der Anlagenregelungen verwendet werden, die von den Eigentümern ausgelesen und übermittelt wurden. Um die Energiedaten der Anlagen auf den einheitlichen Bilanzrahmen aus Kapitel 3.1.2 umzurechnen, wurden für jede Anlagen über Rückfragen bei den Herstellern ermittelt, welche Energiemengen in den Anzeigen berücksichtigt wurden.

Bei der Wärmeerzeugung mussten Abtauenergiemenge und ggf. vorhanden Heizstäbe berücksichtigt werden. Bei den erfassten Stromverbrauchern musste geklärt werden, welche Verbraucher miterfasst wurden und welche nicht – dies sowohl für die interne Stromerfassung als auch ggf. für einen externen EVU Wärmepumpenstromzähler. Daher wurden Stand-By-Verbräuche (von Kurbelwellenheizungen, elektrischen Zusatzheizungen, Frostschutzeinrichtungen, Steuerungen usw.), Pumpengruppen, Stromverbräuche von Solaranlagen oder Kesseln (bivalente Systeme), Frischwasserstationen usw. entsprechend dem Bilanzrahmen addiert oder subtrahiert (siehe Anhang B.2).

3.1.4 Anpassung an die Bilanzgrenze

Um Arbeitszahlen vergleichend betrachten zu können, müssen diese über einheitliche Bilanzgrenzen verfügen. Die berechneten Arbeitszahlen beziehen sich auf die Bilanzgrenze, die in Kapitel 3.1.2 beschrieben ist und ist soweit identisch der AZ3 in [Günther et al. 2020].

Von den meisten Herstellern wurden die benötigten Informationen bereitgestellt, nachdem – von Bundesverband Wärmepumpe unterstützt – die passenden Ansprechpartner gefunden wurden. Einige Hersteller haben jedoch auch nach mehreren Kontaktversuchen keine Informationen bereitgestellt. Lagen keine Informationen der Hersteller vor, wurde davon ausgegangen, dass lediglich die Kompressordaten angezeigt werden, somit auf der Wärmeseite die Abtauenergie nicht berücksichtigt wurde und auf der Stromseite Stand-By-Verbräuche, Frostschutzeinrichtungen, Kurbelwellenheizungen, Steuerungen usw. nicht im Stromverbrauchswert enthalten waren und die Daten entsprechende bereinigt werden mussten.

Anlagen von 17 Herstellern haben an der Untersuchung teilgenommen. Rückmeldung lagen von Viessmann, Mitsubishi, Vaillant, Daikin, Novolan, Remko, IDM, Elco und Ochsener (Reihenfolge nach Anzahl der teilnehmenden Anlagen) vor. Von 8 Herstellern fehlte eine Rückmeldung mit genaueren Informationen, was in den angezeigten Werten enthalten ist. Das führte dazu, dass bei 19 Anlagen die Korrekturen mit pauschalen Ansätzen durchgeführt werden mussten.

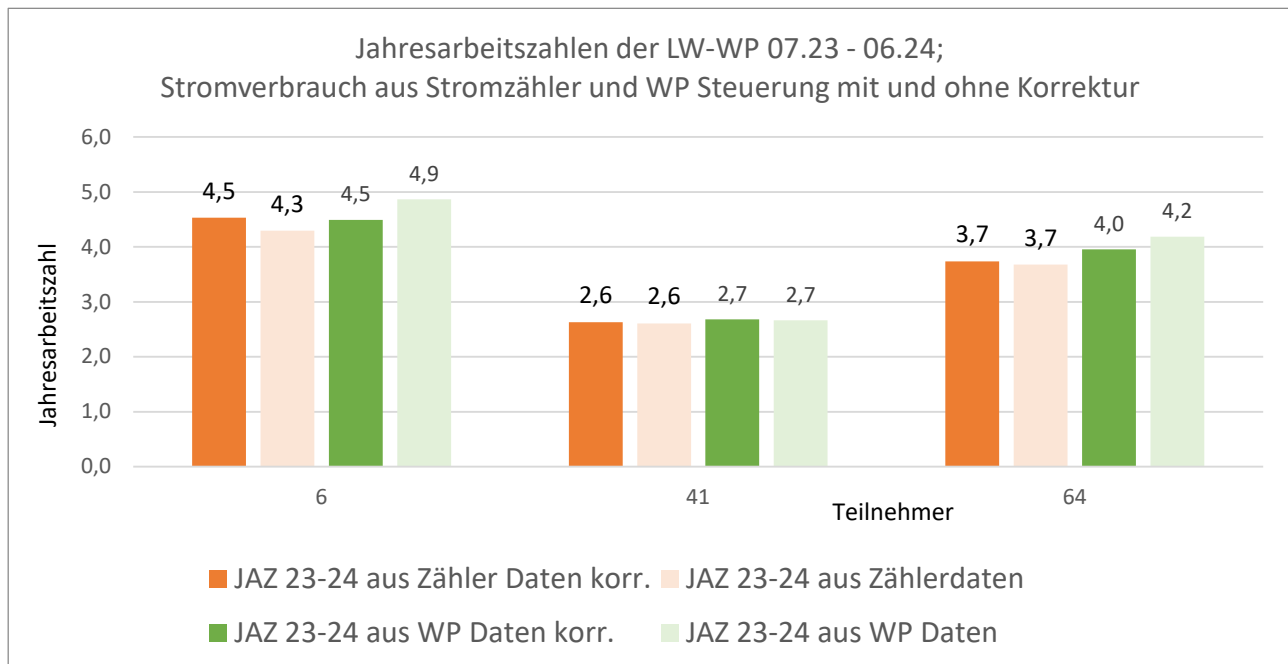
Zur Anpassung der Daten wurde ein Excelblatt erstellt mit dem je nach Herstellerangaben bzw. Vor-Ort-Informationen Stromverbrauchswerte für Steuerungen, verschiedene Pumpen, Stand-by Verbräuche usw. addiert oder auch subtrahiert werden konnten (siehe Anhang B.2).

Die Stromverbrauchswerte wurden monatsweise in Abhängigkeit der Laufzeiten der einzelnen Komponenten, teilweise auch in Abhängigkeit der Witterung angepasst. Beispielsweise wurden die Laufzeiten der Warmwasserspeicherbeladung über die Leistung der WP und den Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung bestimmt und dann mit einem abgeschätzten Stromverbrauch der Ladepumpe multipliziert. Wenn eine Herstellerangabe für den Stromverbrauch der Ladepumpe (ggf. Preset-Wert) vorlag, wurde diese berücksichtigt, ansonsten ein Schätzwert angesetzt.

Stand-by-Verbrauchswerte der Wärmepumpen (wenn nicht schon z. B. über Stromzähler berücksichtigt) wurden mit 30 W angesetzt [Berthold 2022, Seite 53] und dies nur in den Stunden, in denen die Wärmepumpen im Stand-by und somit nicht in Betrieb war. Die Laufzeiten wurden monatsweise über die Witterung, die Energieerzeugung und einen angesetzten Teillastfaktor der WP abgeschätzt. In der Untersuchung von [Berthold 2022] wurden 16 Inverter-Wärmepumpen ausgewertet und auch der Zusammenhang von Laufzeit und Stand-by Verbrauch aufgezeigt. Umso besser die Wärmepumpe zum Gebäudeenergieverbrauch passt, umso geringer sind die Stand-by-Verluste.

Lagen keine Informationen vom Hersteller vor, ob die Abtauenergie schon von der angezeigten Wärmeenergie erzeugt wurde und wurde auch die Abtauenergie nicht vom Gerät erfasst und angezeigt, wurde die Abtauenergie über einen eigenen Ansatz abgeschätzt. Dieser berücksichtigt das Verhalten der Wärmepumpe bei unterschiedlichen Außentemperaturen für verschiedene Standorte. Bei Außentemperaturen zwischen 0 - 5 °C wurden 8 % der erzeugten Energie zur Abtauung angesetzt und bei Temperaturen unter 0 °C 4 %. Ein Vergleich mit einer Anlage, bei der die Abtauenergie separat ausgewiesen wurde ergab, dass die Abtauverluste aus der Beispielanlage bei 2,02 % der Gesamtenergieerzeugung lagen, mit dem vereinfachten Modell bei 2,35 % (siehe Anlage B.3). Auch wenn die lokalen Gegebenheiten vor Ort sehr unterschiedlich sein können (Lage, Flussnähe, ...), wurde dieser Ansatz als ausreichend genau für die weitere Verwendung angesehen.

Die Umrechnung der Daten auf den einheitlichen Bilanzrahmen ist mit einigen Unsicherheiten behaftet, trotzdem lieferten die Anpassung gute Ergebnisse. In Bild 7 sind beispielhaft für drei Teilnehmer die Jahresarbeitszahlen für den Zeitraum 07.23 bis 06.24 dargestellt. Die JAZ aus den Rohdaten aus der Wärmepumpe sind in hell dargestellt, einmal berechnet mit den Daten aus einem externen Stromzähler (orange) und einmal mit den Daten aus der Wärmepumpensteuerung (grün). Die JAZ aus den auf dem einheitlichen Bilanzrahmen umgerechneten Daten sind dunkler dargestellt. Bei Teilnehmer 6 liegen die JAZ ohne Korrektur 0,6 (4,9 - 4,3) auseinander, nach der Anpassung liegen beide JAZ bei 4,5. Bei Teilnehmer 41 liegen die Daten schon ohne Anpassung sehr dicht zusammen, was sich auch durch die Korrektur nicht ändert. Bei Teilnehmer 64 ist die Abweichung der JAZ aus den Rohdaten mit 0,5 recht hoch und reduziert sich durch die Anpassung auf 0,3. Nicht bei allen Anlagen bzw. Datensätzen, bei denen Zählerdaten und interne Stromverbrauchsdaten vorlagen, funktioniert die Anpassung so gut wie bei den Beispielen, eine Überkompensation trat jedoch nicht auf. Dies deutet darauf hin, dass die gewählten Ansätze bzw. Parameter eher konservativ gewählt wurden.

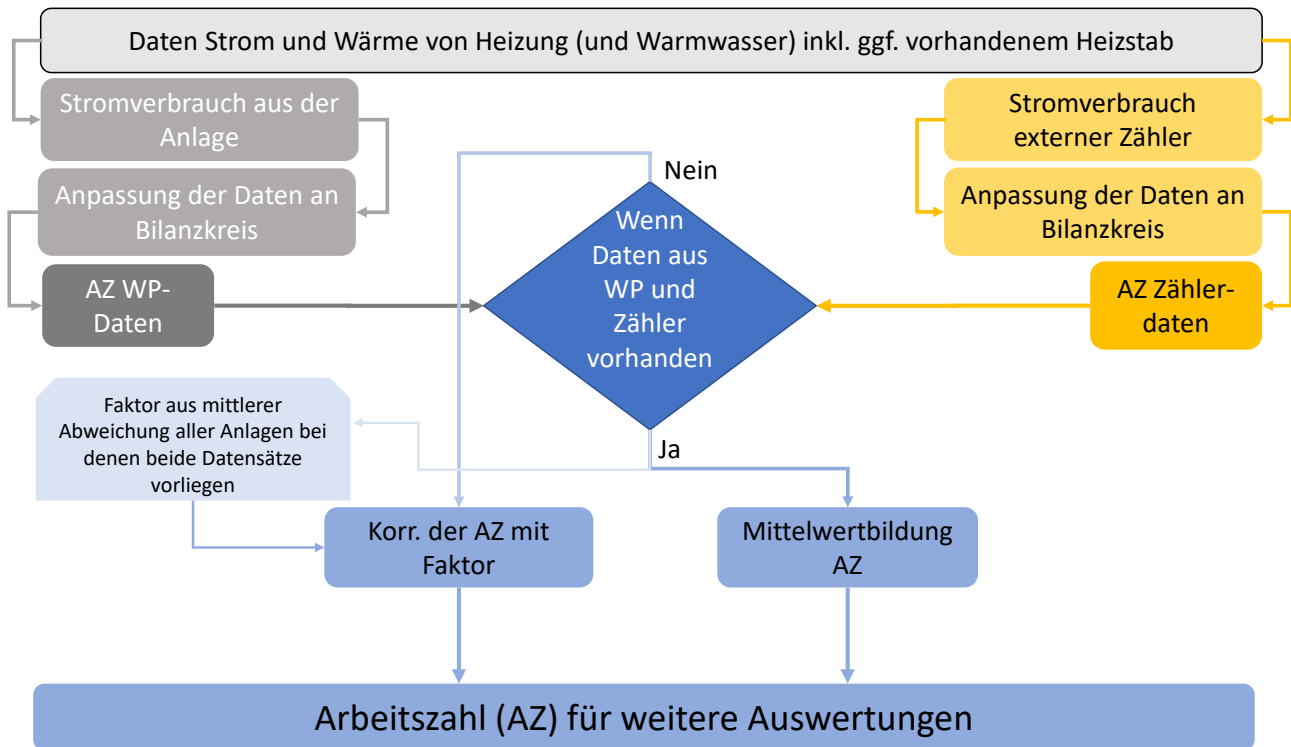
Bild 7: Beispiele der Anpassung der Daten auf einen einheitlichen Bilanzrahmen

3.1.5 Weitere Korrekturen der Verbrauchsdaten

Für die Auswertungen stehen nach Datenanpassung teilweise Stromdaten aus der WP und aus separaten Zählern zur Verfügung. Hier stellt sich die Frage, welche Werte für die weiteren Auswertungen verwendet werden sollen.

Da diese Frage in der vorliegenden Studie nicht allgemein zu beantworten ist, wurde ein weiterer Korrekturschritt eingefügt. Für 11 Teilnehmer liegen zwei Stromverbrauchswerte vor, für 17 Teilnehmer liegen die Daten nur aus den Wärmepumpen vor und für 11 Teilnehmer liegen nur Stromverbräuche aus Zählerdaten vor.

Die Frage, welche von den beiden Werten die bessere Grundlage für die Auswertungen im Projekt liefern, konnte nicht eindeutig geklärt werden, da neben der eigentlichen Messung (bei den Stromzählern prinzipiell genauer, aber mit Unsicherheiten über die erfassten Verbräuche) auch die Korrekturalgorithmen zur Umrechnung auf den einheitlichen Bilanzraum eine Rolle spielen. Vor diesem Hintergrund wurde entschieden, einen mittleren Weg zwischen diesen beiden Ansätzen zu beschreiten. Für die 11 Teilnehmer, bei denen beide Werte vorlagen, wurde dementsprechend der Mittelwert gebildet, der dann direkt in die Auswertung einging. Um die verbleibenden Anlagen nach dem gleichen Schema zu korrigieren, wurde für die gleichen 11 Teilnehmer die mittlere prozentuale Abweichung des Mittelwerts von den gemessenen Zähler- bzw. Anlagendaten gebildet. Dieser prozentuale Korrekturwert beträgt 3,6 % (siehe Tabelle 27 in Anhang B.4). Der Ausgangswert der JAZ wird dann je nach Datenquelle entweder entsprechend erhöht (Endwert JAZ = JAZ aus Zählerdaten x 1,036) oder reduziert (Endwert JAZ = JAZ aus Anlagendaten x 0,964). Das Schema ist in Bild 8 grafisch dargestellt.

Bild 8: Ablaufschema der Datenkorrektur

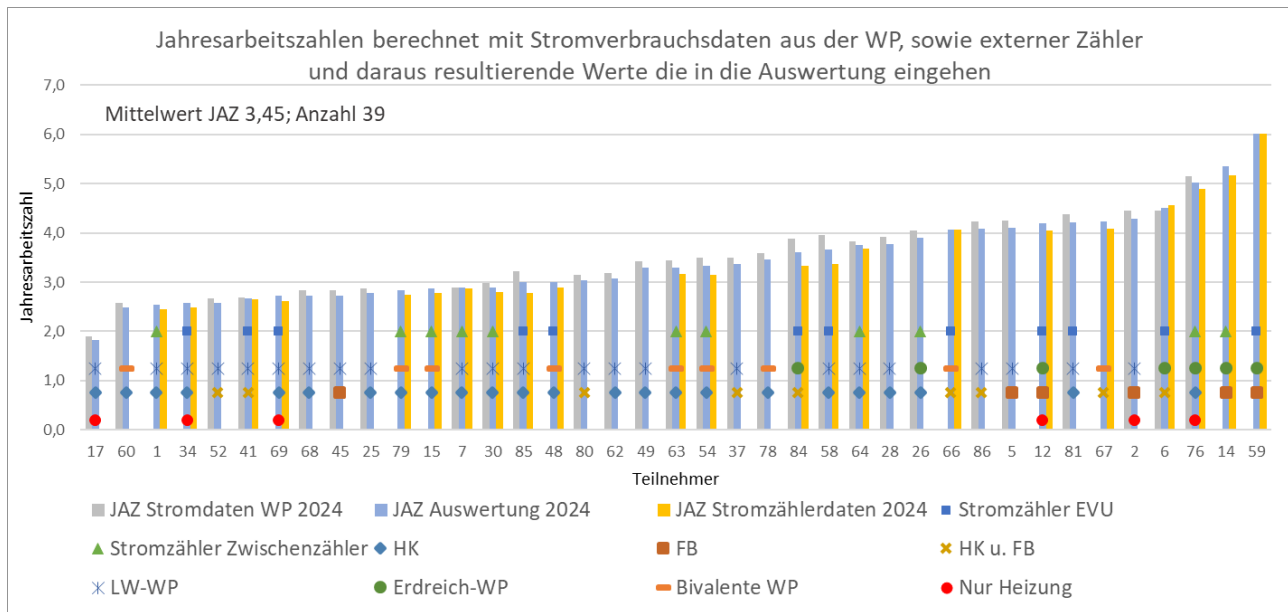
Durch die Korrektur ist die mittlere JAZ 2024 über alle Anlagen von 3,48 auf 3,45 gefallen. Die Korrekturen der JAZ der einzelnen Anlagen liegen zwischen -0,16 und 0,19. Die absoluten Korrekturen sind in Bild 119 in Anhang B.4 dargestellt, die Anlagen auf der Nulllinie sind die Anlagen, bei denen beide Werte vorlagen und ein Mittelwert gebildet werden konnte.

Alle ausgewiesenen JAZ, auch die Werte in den Steckbriefen, wurden so korrigiert. Da der Korrekturfaktor je nach Datenlage leicht variiert, wurden für die einzelnen Auswertungszeiträume jeweils eigene Korrekturfaktoren ausgerechnet und angewendet (Tabelle 28 in Anhang B.4).

In Bild 9 sind die JAZ 2024 aller Teilnehmer aufsteigend nach der korrigierten JAZ sortiert dargestellt. In grau ist die auf den Bilanzrahmen angepasste JAZ, die aus den WP internen Stromdaten ermittelt wurde und in orange die JAZ, die aus den Stromzählerdaten berechnet wurde. Die blauen JAZ sind die in der Auswertung verwendeten final korrigierten Jahresarbeitszahlen.

Gut zu erkennen ist die Tendenz, dass die JAZ aus der WP-internen Stromverbrauchsermittlung eher zu höheren JAZ neigen als die JAZ die über externe Zählerwerte ermittelt wurden.

Bild 9: Jahresarbeitszahlen 2024 vor und nach der Korrektur der Datenquelle



3.1.6 Einordnung der Unsicherheit der Daten

Die erfassten Daten der Wärmepumpenanlagen stammen, wie oben beschrieben, zum größten Teil aus den Steuerungen der Wärmepumpen. Nur in drei Fällen sind externe Wärmezähler vorhanden, um die Wärmeerzeugung zu erfassen, - somit stammen fast alle Wärmemengen aus den Steuerungen der Wärmepumpen. Diese Wärmemengen werden je nach Wärmepumpenmodell und Hersteller unterschiedlich ermittelt. Teilweise ist ein interner Wärmezähler verbaut, der die Wärmeflüsse (auch die Abtauenergie) erfasst und ausgibt. Oft werden jedoch intern im Kältekreislauf Volumenströme, Temperaturen und Drücke gemessen und so die erzeugten Wärmemengen berechnet. Über die Unsicherheit bei dieser Erfassung liegen keine allgemeingültigen Angaben vor.

Im Bericht „JAZ Monitoring – Wärmepumpen-interne Messung der JAZ“ [Buchs 2014] werden verschiedene Methoden beschrieben wie JAZ intern ermittelt werden. Somit kommen bei der Bestimmung der Unsicherheit der ausgewerteten Daten neben den (unbekannten) Unsicherheiten der verwendeten Fühler auch die der Zustandsgrößen des Kältemittels. Als typische Abweichungen werden nach unterschiedlichen Literaturquellen Unsicherheiten von 5 - 15 % angegeben [Buchs 2014, Seite 12]. Nach Herstellerangaben sind die Abweichungen jedoch geringer und liegen nur bei 2,5 - 3,5 % gegenüber der externen Messung. In [Imkeller-Benjes 2024, Seite 22] wurde für eine Einzelanlage interne und externe Messdaten miteinander verglichen. Die interne Erfassung der elektrischen Energie lag 0,6 % über der externen Messung, bei der Wärmemenge lag die interne Messung 8 % unter der externen Messung, so dass in diesem Beispiel die internen JAZ-Werte tendenziell zu niedrig liegen.

Von einer teilnehmenden Erdsreich-Wärmepumpe liegen Wärmemengenmessungen von externen Wärmezählern und der Wärmepumpeninternen Wärmeermittlung vor. Die Abweichungen der unterschiedlich ermittelten Wärmemengen ist bei dieser Anlage im Jahresmittel nur gering und liegt bei lediglich 0,5 %. Eine detaillierte Auswertung der Werte auf Monatsbasis befindet sich im Anhang A.1.

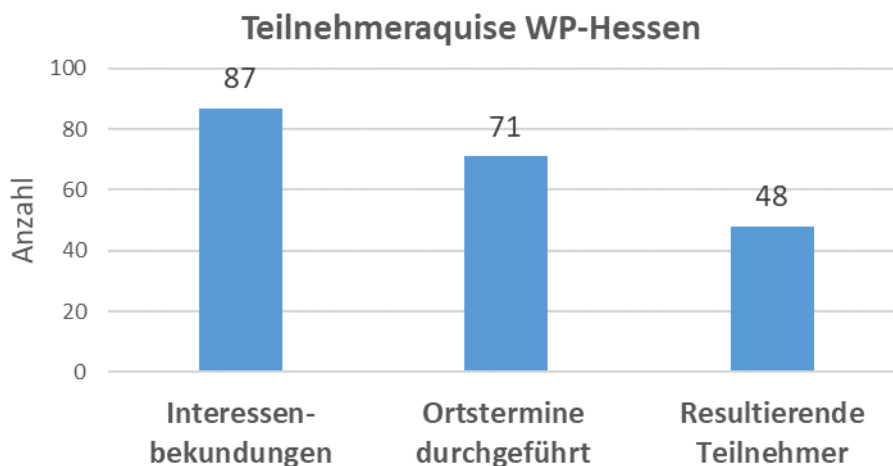
Ein Entwurf zur Aktualisierung der Ecodesign-Richtlinie für Raumheizung [Draft space heaters 2023] gibt für die interne Messung des Energieoutput von Heizungsanlagen einen maximalen Fehler zwischen 7,5 % ($\Delta T > 10 \text{ K}$) und 15 % ($\Delta T \leq 5 \text{ K}$) vor. Für den Energieinput liegt der maximale erlaubte Fehler bei 5 %. In [Bruder-müller et al. 2025, Seite 3] werden ebenfalls die internen Daten der Wärmepumpen ausgewertet, dort jedoch ohne weitere Korrekturen der Bilanzgrenze. Nach Angaben des Wärmepumpenherstellers, dessen Anlagen

dort ausgewertet wurden, liegt die Genauigkeit der internen Messung bereits innerhalb der von [Draft space heater 2023] angegebenen Grenzen.

3.2 Beschreibung der teilnehmenden Gebäude

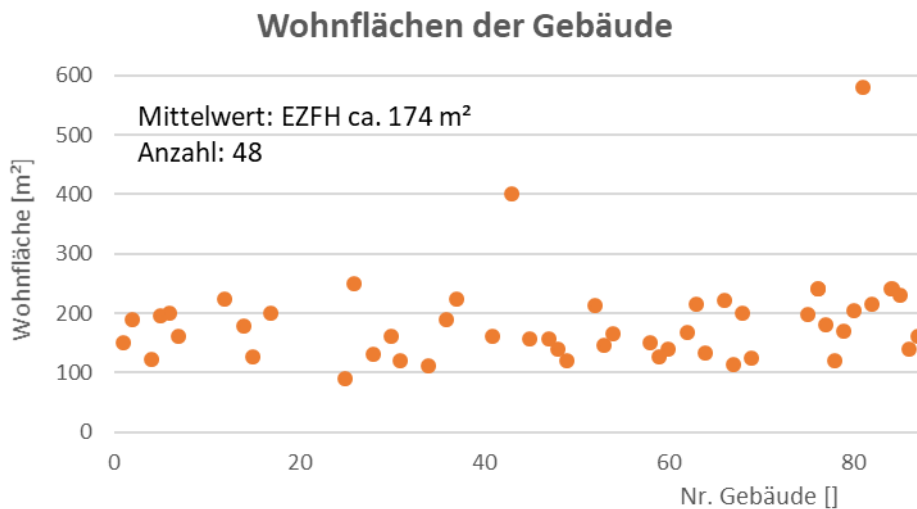
Für eine Teilnahme an der Feldphase haben sich 87 Personen mit ihren Gebäuden gemeldet (siehe Bild 10). Aus den Kontakten resultierten 71 durchgeführte Ortstermine, 39 Teilnehmer sind aus unterschiedlichen Gründen aus dem Projekt ausgeschieden bzw. konnten nicht teilnehmen. Bei 20 der Nichtteilnehmenden konnten nicht genügend Daten aus den Anlagen für eine Auswertung ausgelesen werden. Bei den restlichen Interessenten ist der Kontakt abgebrochen, die Teilnahme ist wieder abgesagt worden oder aus diversen Gründen ist eine Teilnahme nicht zustande gekommen. Von 48 Teilnehmenden wurden regelmäßig Daten zur Auswertung geliefert.

Bild 10: Auswertung der Teilnehmerakquise



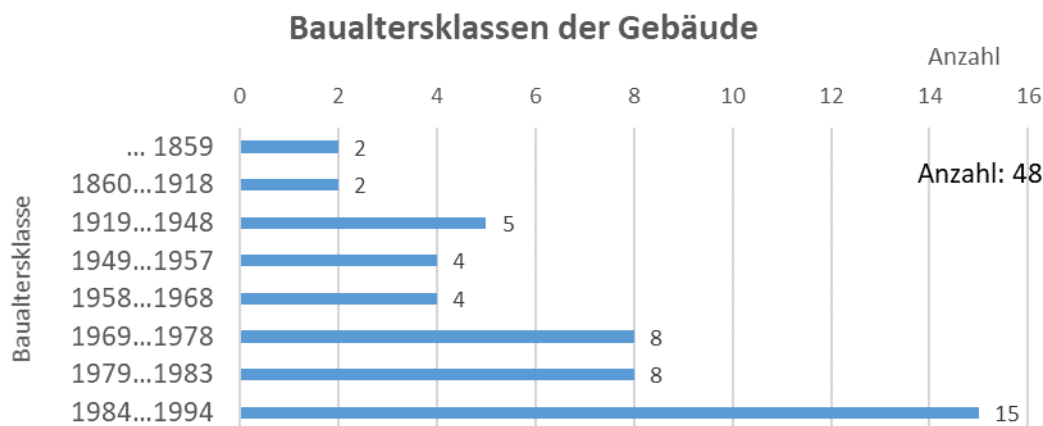
Die mittlere Wohnfläche der teilnehmenden Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH) liegt bei 174 m² (Bild 11), die Fläche des einzigen teilnehmenden Mehrfamilienhauses (MFH) bei 580 m². Die mittlere Wohnfläche bei den Einfamilienhäusern (EFH) liegt bei 158 m² und bei den Zweifamilienhäusern (ZFH) bei 237 m². Die Verteilung der Wohnflächen ist in Bild 11 grafisch dargestellt.

Bild 11: Wohnflächenverteilung der teilnehmenden Gebäude



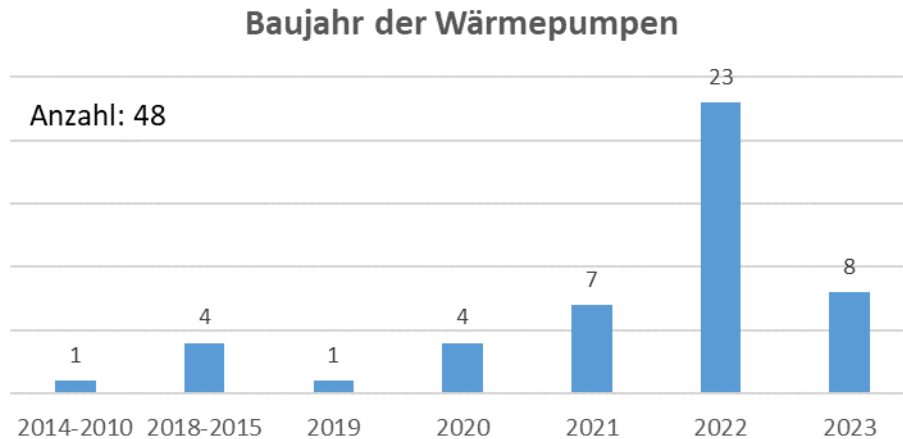
In Bild 12 sind die teilnehmenden Gebäude den Baualtersklassen zugeordnet, wie sie auch in der deutschen Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015] angewendet werden. Knapp die Hälfte (48 %) der teilnehmenden Gebäude wurde zwischen 1979 und 1994 erbaut² und entsprechen somit den Standards der 1. bzw. 2. Wärmeschutzverordnung. Die verbleibenden 52 % der Gebäude sind vor 1978 erbaut. Bei den Baualtersklassen wurden die Gebäude mit An- oder Umbauen immer dem Baualter des Ursprungsgebäudes zugeordnet.

Bild 12: Baualtersklassen der teilnehmenden Gebäude

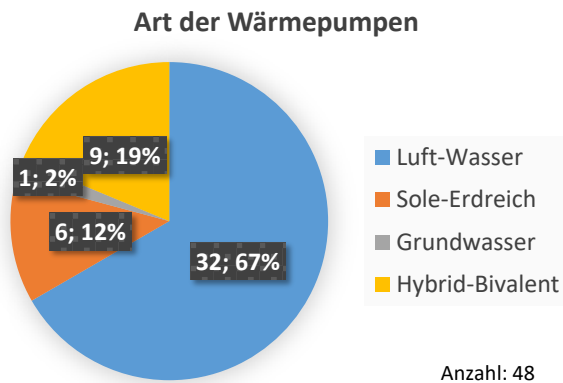
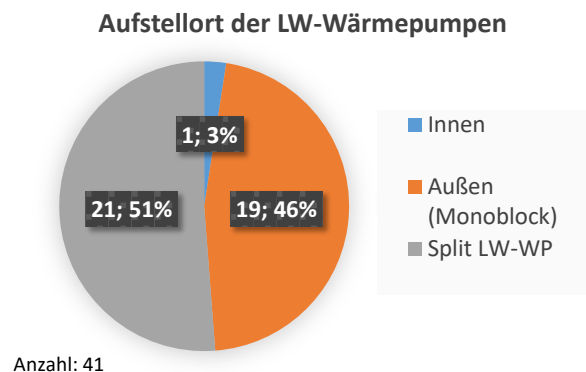


Die meisten Wärmepumpen wurden in den letzten drei Jahren vor Beginn der Feldphase in Betrieb genommen (Bild 13) und entsprechen somit dem aktuellen Stand der Technik. Viele Wärmepumpenhersteller haben schon die Vorgaben der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zur Energieverbrauchs- und Effizienzanzeige umgesetzt und die Daten zu Energieerzeugung und Energieverbrauch können aus den Steuerungen oder per Software (Mobile-App oder Online-Portal) ausgelesen werden. Viele der älteren Anlagen konnten nicht im Projekt berücksichtigt werden, da Daten zum Stromverbrauch oder der Wärmeerzeugung nicht erfassbar waren.

² Gebäude, die nach 1994 errichtet wurden, wurden nicht in die Feldphase aufgenommen.

Bild 13: Baujahre der teilnehmenden Wärmepumpen

In Bild 14 kann die Verteilung der unterschiedlichen Wärmepumpenarten bei den Gebäuden der Feldphase entnommen werden. Mit 32 Luft-Wasser-Wärmepumpen (LW-WP) dominieren diese das Anlagenfeld. Auch alle bivalenten Wärmepumpensysteme beinhalten eine LW-WP, so dass 41 LW-WP in die Auswertung mit eingingen. Im Feld ist eine Grundwasser-Wärmepumpe enthalten, die bei der Auswertung mit den Sole- bzw. Erdreich-Wärmepumpen (Erdreich-WP) zusammengefasst wurde. In Bild 15 sind die Aufstellorte bzw. der Typ der Wärmepumpen aufgeführt. Die Erdreich- und Grundwasser-Wärmepumpen sind alle innen aufgestellt. Bei den LW-WP ist nur ein Gerät innen aufgestellt, die restlichen Geräte teilen sich zu 51 % in Split-WP und zu 46 % in außen aufgestellte sogenannten Monoblock-Geräte auf.

Bild 14: Art der Wärmepumpen**Bild 15: Aufstellort bzw. Typ der LW-Wärmepumpen**

In der Regel wird mit den Wärmepumpen Heizung und Warmwasser zentral bereitgestellt, nur sieben Wärmepumpen werden ausschließlich zur Heizungsversorgung eingesetzt (Bild 16). Bei diesen Anlagen wird das Warmwasser dezentral elektrisch, über den Gaskessel, eine Abluft-WP oder thermische Solaranlagen mit Heizstab erzeugt.

Zusätzlich zur zentralen Heizungsanlage sind in vielen der Gebäude weitere Wärmeerzeuger installiert (Bild 17). In etwas mehr als der Hälfte (52 %) der Gebäude ist ein dezentraler Kamin-, Kachel- oder Pelletofen vorhanden. Bei sieben (15 %) der Gebäude ist eine thermische Solaranlage installiert, wovon fünf zur Warmwasserbereitung und zwei auch zur Heizungsunterstützung verwendet werden. Bis auf wenige Ausnahmen sind diese Anlagen Bestandsanlagen, die schon vor dem Einbau der Wärmepumpe vorhanden waren. Bei zwei

Gebäuden sind PV-Heizstäbe installiert, die in Bild 17 nicht bei den Wärmeerzeugern separat berücksichtigt sind.

Bild 16: Versorgungsbereiche der Wärmepumpen

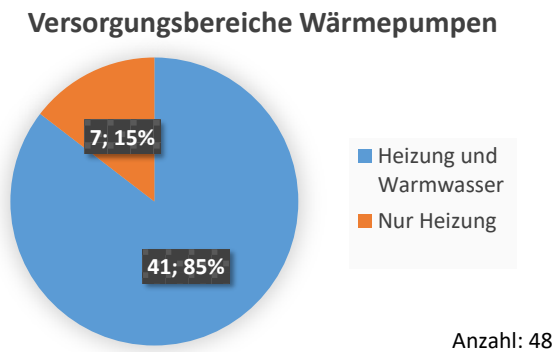
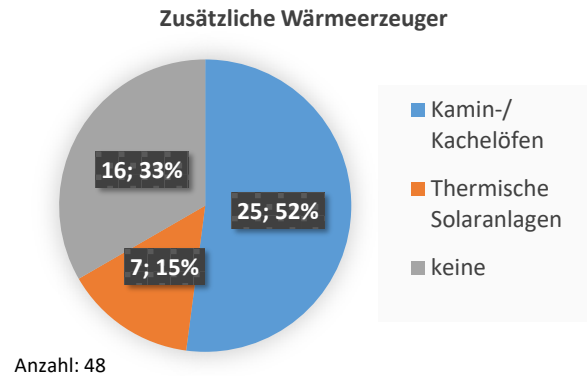
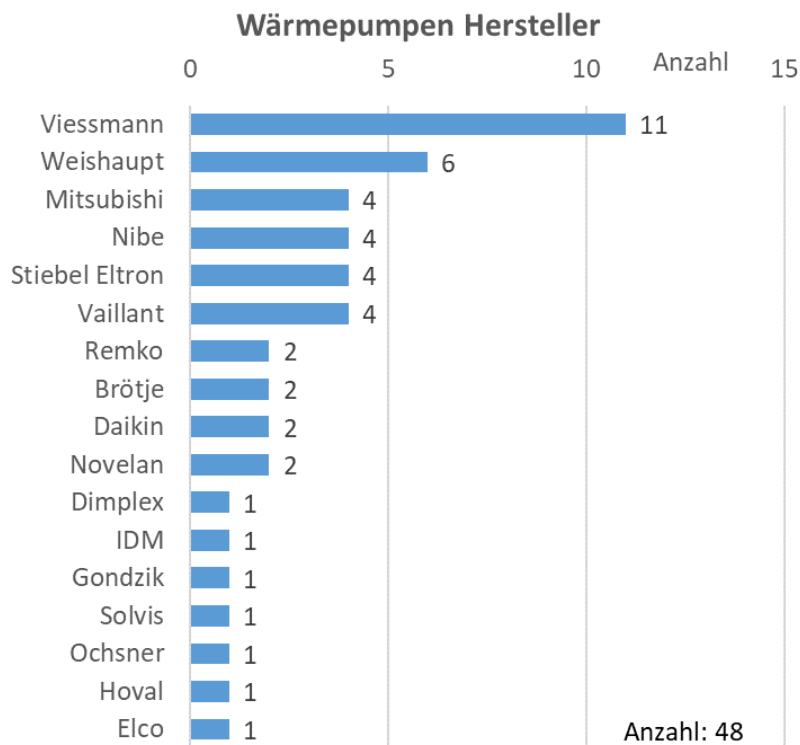


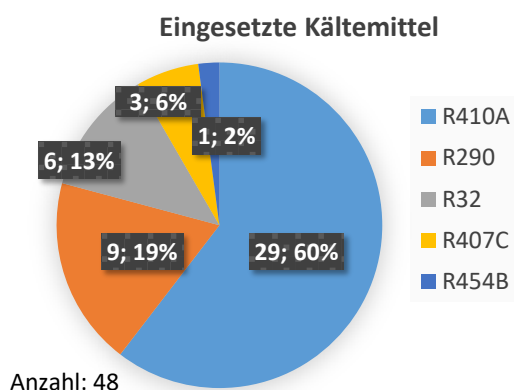
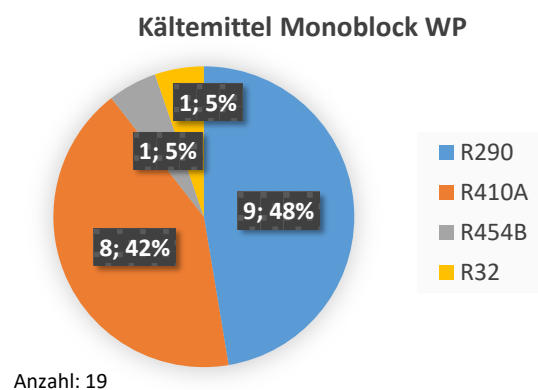
Bild 17: Zusätzliche dezentrale Wärmeerzeuger und thermische Solaranlagen



Im nächsten Diagramm (Bild 18) sind die in die Auswertung eingehenden Wärmepumpenhersteller aufgelistet. Die meisten der teilnehmenden Wärmepumpen sind von traditionellen Herstellern von Wärmeerzeugern gefertigt worden, die auch ein dichtes Vertriebsnetz über die ortsansässigen Installationsbetriebe haben. Es sind aber auch einige schon seit längerem hauptsächlich auf Wärmepumpen spezialisierte Unternehmen vertreten. Daher kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Wärmepumpen über die regionalen bzw. ortsansässigen Heizungsbauer gekauft wurden, die die Anlagen wiederum über ihre üblichen Lieferanten bezogen haben.

Bild 18: Wärmepumpenhersteller mit Anzahl teilnehmender Anlagen

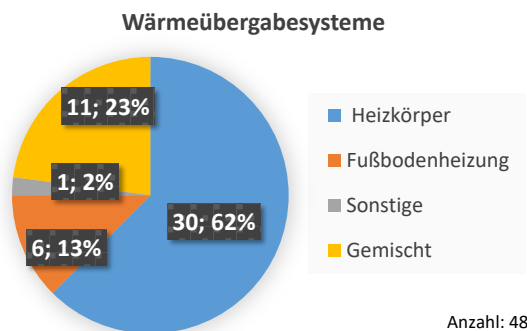
Bei den verwendeten Kältemitteln (Bild 19) dominiert R410A, das von den meisten europäischen Herstellern eingesetzt wird. R32 wird eher von asiatischen Herstellern wie Mitsubishi oder Daikin verwendet. Das natürliche Kältemittel R290 (Propan) wird bei der neusten Wärmepumpengeneration herstellerübergreifend eingesetzt. Alle Wärmepumpen, die mit R290 betrieben werden, sind Baujahr 2022 oder neuer. Bei den außen aufgestellten Monoblock Wärmepumpen wurde schon fast zur Hälfte das natürliche Kältemittel R290 eingesetzt (Bild 20).

Bild 19: Eingesetzte Kältemittel mit Häufigkeit**Bild 20: Kältemittel bei Monoblock LW-WP**

Dem Baualter der Gebäude entsprechend dominiert bei der Wärmeübergabe der Heizkörper (Radiators) mit einem Anteil von 65 % (Bild 21). Fußbodenheizungen sind in den betrachteten Baualtersklassen weniger verbreitet. Wurden diese dennoch eingebaut oder nachgerüstet, dann häufig nicht in allen Räumen.

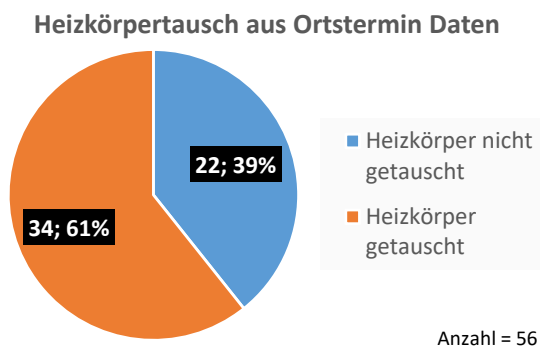
Üblicherweise wurden Fußbodenheizung nur in den Wohnbereichen eingebaut, Kellerbereiche oder ausgebaut Dachgeschosse sind oft mit Heizkörpern ausgestattet. Diese Systeme sind in der Kategorie „Gemischt“ zusammengefasst. Bei der einen als „Sonstige“ bezeichneten Wärmeübergabevariante handelt es sich um eine kombinierte Fußboden- und Deckenheizung, diese wird in der Auswertung den Fußbodenheizungen zugeordnet.

Bild 21: Übersicht der Wärmeübergabesysteme

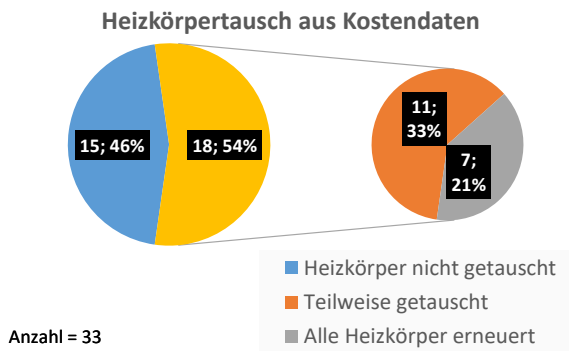


Bei den Gebäuden mit Heizkörpern, also auch den gemischten Systemen, wurden im Zuge des Wärmepumpeneinbaus teilweise neue Heizkörper montiert, um die Heizflächen an die verringerten Heizkreistemperaturen anzupassen (siehe Bild 22). Bei den Ortsterminen wurden so 56 Gebäude mit Heizkörpern identifiziert (auch Gebäude aus den ersten Ortsterminen, die nicht an der Feldphase teilgenommen haben), bei 34 dieser Gebäude (61 %) wurden Heizkörper getauscht. Bei 22 Gebäuden (39 %) wurden die Heizflächen so belassen wie sie waren.

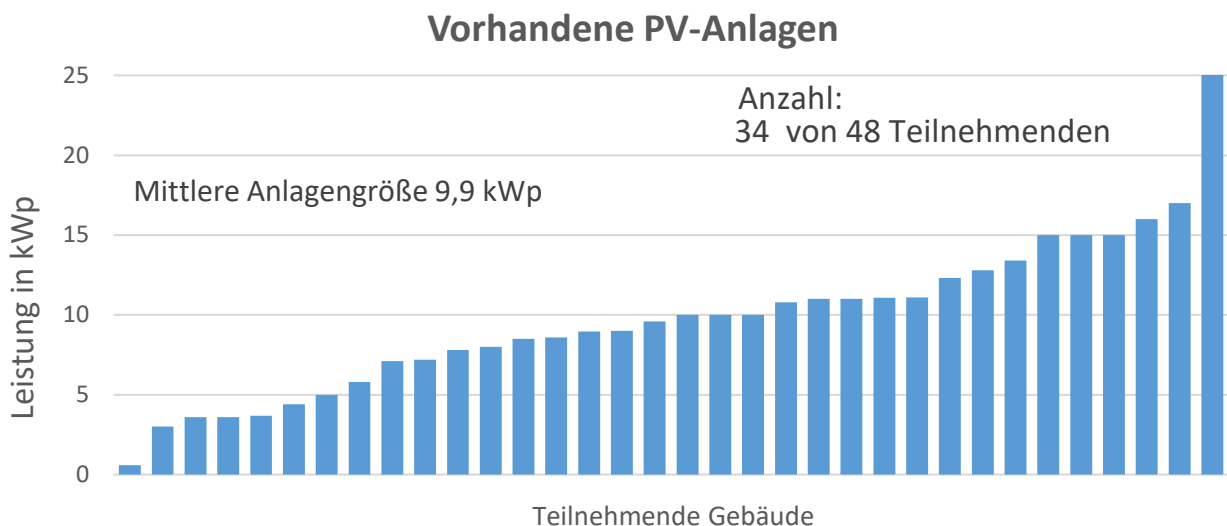
Bild 22: Heizkörpertausch (aus Ortstermin-Daten)



Eine weitere etwas detailliertere Auswertung zum Heizkörpertausch konnte aus den vorliegenden Kostendatensätzen erstellt werden. Kostendaten lagen von 33 Heizungsanlagen mit Heizkörper- bzw. gemischten Systemen vor, wie in Bild 23 dargestellt. Bei 18 von 33 Anlagen wurden Heizkörper im Zuge der Wärmepumpeninstallation getauscht. Von diesen 18 Anlagen wurden bei 11 Anlagen jeweils nur einige Heizkörper ausgetauscht, in der Regel um eine ausreichende Wärmeabgabe zu gewährleisten. Bei sieben Gebäuden wurden aus unterschiedlichen Gründen alle Heizkörper im Gebäude erneuert. Bei zwei Gebäuden wurde die Heizung von einer elektrischen Direktheizung auf ein wasserführendes System umgebaut und bei zwei weiteren Gebäuden generelle alle Heizkörper im Zuge einer größeren Sanierung erneuert. Bei den anderen drei Gebäuden wurden alle Heizkörper gegen effizientere Modelle getauscht. Bei knapp der Hälfte der Anlagen (15, 46 %) wurden die Heizflächen nicht angepasst.

Bild 23: Auswertung Heizkörpertausch aus Kostendatensätzen

Rund 70 % der Teilnehmer besitzen auch eine Photovoltaikanlage. In Bild 24 sind die Photovoltaikanlagen mit aufsteigender Leistung dargestellt. Die mittlere Anlagenleistung liegt bei 9,9 kWp, viele der Anlagen sind groß genug dimensioniert, um einen Beitrag zur Stromversorgung der Wärmepumpe leisten zu können.

Bild 24: Vorhandene Photovoltaikanlagen mit installierter Peakleistung

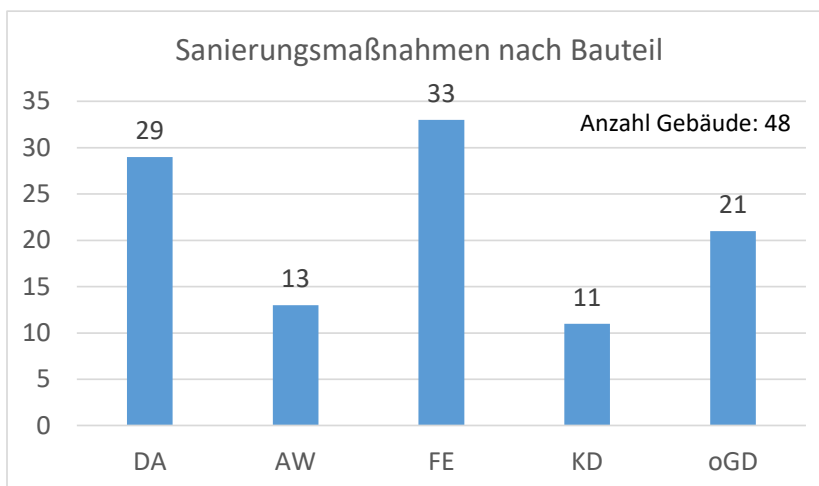
3.2.1 Gebäudezustand

Die Baualtersklassen der teilnehmenden Gebäude wurden schon in Bild 12 dargestellt und beschrieben. Um den IST-Zustand der Gebäude zu erfassen, wurden bei der Ortsbegehung die bisherigen Sanierungsmaßnahmen der Gebäudehülle erfragt und dokumentiert. Die erfassten Gebäudedaten wurden mit dem Tool Energieprofil-XL [Loga EP-XL 2023] weiterverarbeitet und damit verschiedene Kennwerte auf Basis des Energiebedarfs der Gebäude ermittelt. Mit diesen Werten wurde der Ist-Zustand der teilnehmenden Gebäude beschrieben. Die Gebäudedaten wurden anhand der Befragung der Hauseigentümer beim Ortstermin erhoben und basieren größtenteils auf mündlichen Angaben. Bei den Bauteil-U-Werten wurden, wenn nicht anders bekannt, die U-Werte entsprechend der Baualtersklasse aus dem Tool verwendet und mit ggf. nachträglichen Sanierungsmaßnahmen ergänzt. Die Bauteilflächen aller Gebäude wurden mit dem im Tool enthaltenen Flächenschätzverfahren [Loga et al. 2005] ermittelt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um den Aufwand der Gebäudeerfassung im Projekt und für die Teilnehmer beim Ortstermin möglichst zu begrenzen. Jedoch

entstehen dadurch Unsicherheiten, die man bei den Auswertungen berücksichtigen muss, bei denen Gebäudekennwerte verwendet werden. In der Praxis der Energieberatung, bei der Auslegung der Wärmepumpenheizung, einer raumweisen Heizlastberechnung bzw. dem hydraulischen Abgleich durch einen Heizungsbauer, Energieberater oder Fachplaner wird ein ähnliches Vorgehen zumindest bei der Bestimmung der U-Werte der Bestandsbauteile angewendet. Daher wird davon ausgegangen, dass sich die Unsicherheiten in einem ähnlichen Rahmen bewegen.

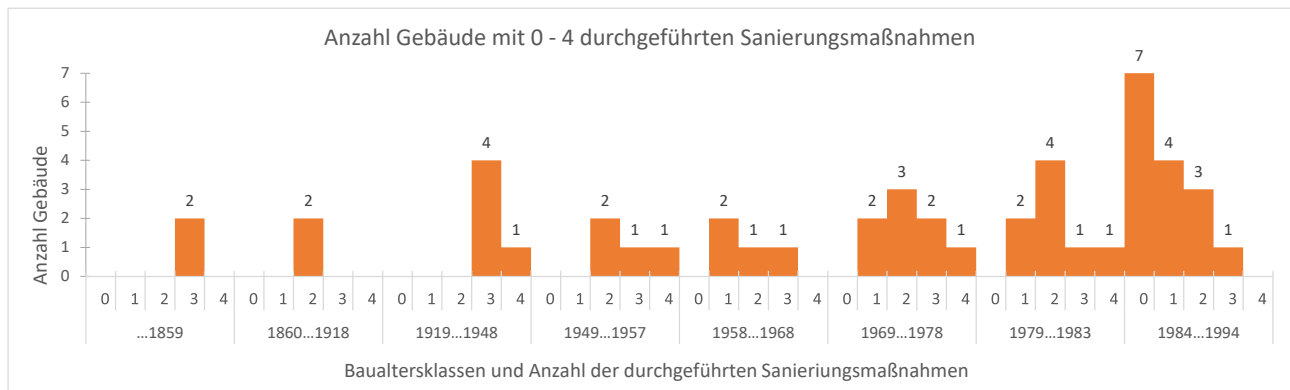
Erfasst wurden die Sanierung von Dach (DA), Außenwand (AW), Fenstern (FE), Kellerdecke (KD) und oberster Geschossdecke (oGD). In Bild 25 sind die Häufigkeiten der unterschiedlichen durchgeführten Maßnahmen aufgeführt. Auffällig ist, dass die verhältnismäßig preiswerte Dämmung der Kellerdecke nur bei 11 Gebäuden durchgeführt wurde. Eine Außenwanddämmung wurde bei rund 30 % der Teilnehmenden durchgeführt. Die Fenster wurden bei über 70 % der Gebäude ausgetauscht, wobei eine Fenstererneuerung nur dann als Maßnahme gewertet wurde, wenn eine Wärmeschutzverglasung vorgefunden wurde. Ein Fenstertausch z. B. in den 1980er Jahren mit einer einfachen Doppelverglasung wurde nicht als Maßnahme gewertet.

Bild 25: Durchgeführte Sanierungsmaßnahmen nach Bauteil

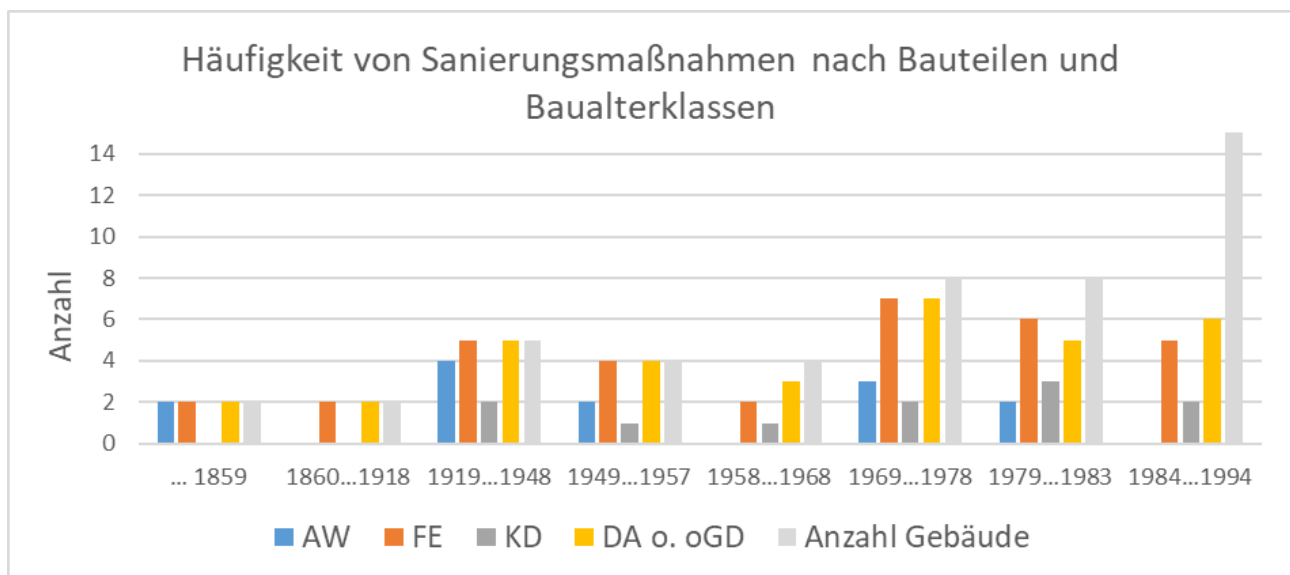


Um die Häufigkeit und Anzahl der durchgeführten Maßnahmen³ besser bewerten zu können, wurden diese den Baualtersklassen der teilnehmenden Gebäude zugeordnet und mit der Anzahl der Maßnahmen pro Gebäude angereichert. Maßnahmen an Dach und/oder oberster Geschossdecke wurden als eine Maßnahme gewertet. In der grafischen Auswertung in Bild 26 ist gut zu erkennen, dass bei den älteren Gebäuden, die vor 1984 erbaut wurden, mit zunehmendem Alter mehr Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Gänzlich unsanierte Gebäude kommen erst ab der Baualtersklasse 1984-1994 in der Feldphase vor. In der Baualtersklasse 1979-1983 wurden meist nur 1-2 Maßnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt. In den Gebäuden der älteren Baualtersklassen wurden oft zwei oder mehr Maßnahmen durchgeführt bevor die Wärmepumpen eingebaut wurden.

³ Als Maßnahmen werden Sanierung gewertet, die etwa die Hälfte einer Bauteilflächen betreffen. Zum Beispiel wird der Tausch von drei Fenstern noch nicht als Maßnahme gewertet, der Tausch von allen Fenstern in einem Geschoss schon. Eine Aufstockung mit neuem Dach und neuen Giebelwänden wird nicht als Maßnahme an der Außenwand gewertet, da nur eine Außenwandfläche von weniger als 1/3 der Gesamtaußenwandfläche verbessert wurde.

Bild 26: Anzahl der durchgeführten Sanierungen nach Baualtersklassen

In Bild 27 sind die unterschiedlichen Maßnahmen den Baualtersklassen zugeordnet und mit der Anzahl der Gebäude (in grau) in der Baualtersklasse dargestellt. Gut zu erkennen ist, dass Fenster und Dach bzw. oberste Geschossdecke bei fast allen Gebäuden vor 1979 schon einmal erneuert bzw. saniert wurden. Zudem nimmt die Anzahl der durchgeführten Maßnahmen bei den neueren Gebäuden tendenziell ab.

Bild 27: Häufigkeit von Sanierungsmaßnahmen nach Bauteil und Baualtersklasse

3.2.2 Kennwerte Gebäude und Anlagentechnik

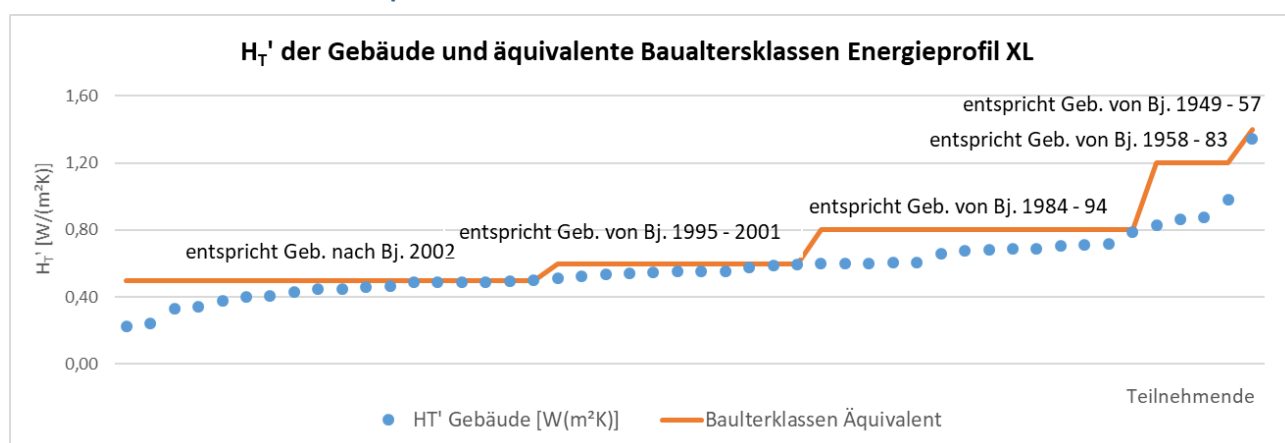
Wie schon beschrieben, wurden mithilfe des Excel-Tools Energieprofil XL für die teilnehmenden Gebäude energetische Kennwerte ermittelt. Die Auswertung der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit vom Baualter der Gebäude zeigt, dass ab der Baualtersklasse 1984 – 1994 Wärmepumpenheizungen ggf. auch ohne Sanierungsmaßnahmen am Gebäude eingebaut wurden. Bei sieben von 15 Gebäuden dieser Baualtersklasse wurde keine Sanierungsmaßnahme durchgeführt und bei vier der Gebäude nur eine Maßnahme. Als eine Möglichkeit zur energetischen Bewertung der Gebäudehülle bietet sich der H_T' Wert der Gebäude an, der einem mittleren U-Wert entspricht und in den meisten Energieberatungsberichten ausgewiesen wird. Daher wurde aus den Daten der deutschen Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015] (Abschnitt C) für EFH und RH die den Baualtersklassen entsprechenden H_T' -Werte entnommen und daraus H_T' -Bereiche gebildet (siehe Tabelle 2). Aus diesen wurden den Baualtersklassen äquivalente H_T' -Bereiche zusammengefasst. Da sich die H_T' -Werte teilweise nur wenig unterscheiden, wurden einige Baualtersklassen zusammengefasst.

Tabelle 2: H_T' -Werte der Baualtersklassen von EFH und RH aus der deutschen Gebäudetypologie [Loga et al. 2015], daraus abgeleitet H_T' -Bereiche und äquivalente Baualtersklassen der sanierten Gebäude

Baualtersklassen (BAK)	... 1859	1860... 1918	1919... 1948	1949... 1957	1958... 1968	1969... 1978	1979... 1983	1984... 1994	1995... 2001	2002...
H_T' Typologie EFH	2,24	1,54	1,5	1,35	1,07	0,9	0,9	0,72	0,55	0,39
H_T' Bereiche EFH	>1,9	1,9 - 1,5	1,5 - 1,4	1,4 - 1,2	1,2 - 1	1 - 0,8	1 - 0,8	0,8 - 0,6	0,6 - 0,5	<0,5
H_T' Typologie RH		1,28	1,31	1,27	1,05	0,99	0,82	0,77	0,62	0,41
H_T' Bereiche RH				>1,2	1,2 - 1	1 - 0,9	0,9 - 0,8	0,8 - 0,7	0,7 - 0,5	<0,5
Baualtersklassen Äquivalent	... 1859	1860 1948	1949... 1957	1958 1983	1984... 1994	1995... 2001	2002...
H_T' Bereiche BAK Äquivalent	>1,9	1,9 -	-1,4	1,4 - 1,2	1,2 -		-0,8	0,8 - 0,6	0,6 - 0,5	<0,5

Mithilfe der H_T' -Bereiche konnten den teilnehmenden Gebäuden äquivalente Baualtersklassen, entsprechend ihrem Sanierungsstand zugeordnet werden. In Bild 28 sind die ermittelten H_T' -Werte der Gebäude in aufsteigender Reihenfolge dargestellt. Die Bereiche der äquivalenten Baualtersklassen sind mit dargestellt und es ist gut zu erkennen, dass die Gebäude bis auf wenige Ausnahmen mindestens dem energetischen Zustand eines Gebäudes mit Baujahr nach 1984 entsprechen. Bei der Mehrheit der Gebäude haben die einzelnen Sanierungsmaßnahmen ausgereicht, um die Gebäudehülle auf das Niveau der 3. Wärmeschutzverordnung ab 1995 zu ertüchtigen.

Bild 28: H_T' der Gebäude und äquivalente Baualtersklassen



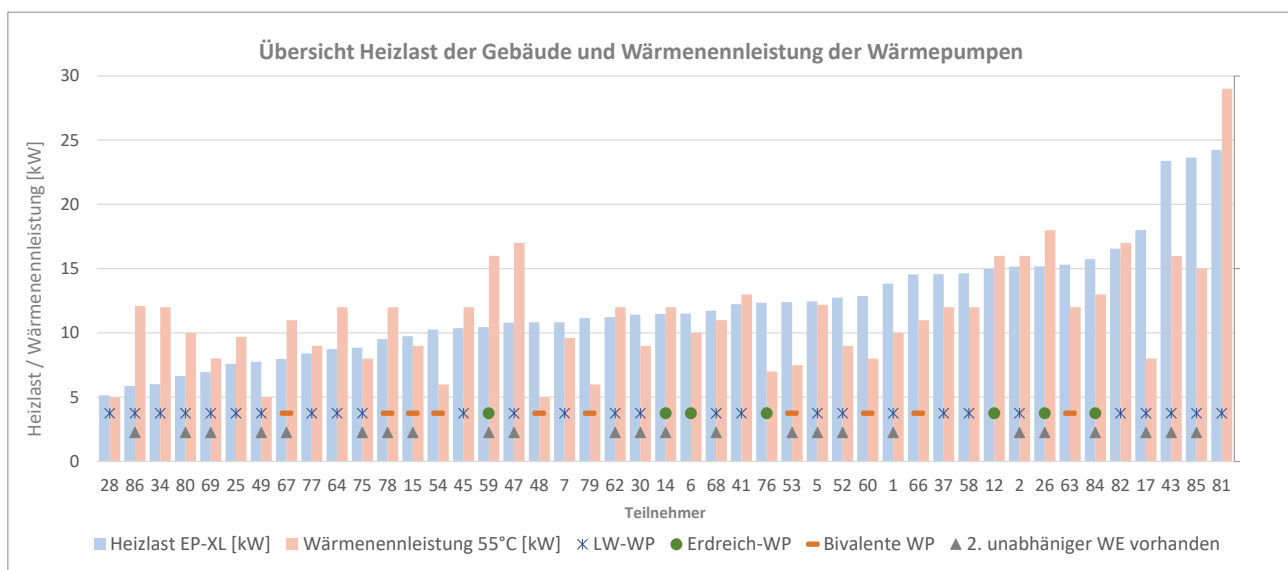
Mithilfe der Energieprofil-XL (EP-XL)-Berechnungen wurden auch die benötigten Heizlasten der Gebäude abgeschätzt. Diese sind in Bild 29 mit den Wärmenennleistungen⁴ (bei 55°C) der eingesetzten Wärmepumpenmodelle dargestellt. Die Wärmenennleistungen wurden – soweit vorhanden – der *Liste der förderfähigen Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis* (Stand 04.07.2023) [BAFA 2023] entnommen. Auffällig ist, dass im Bereich der Gebäude mit kleinen Leistungsbedarfen die Wärmepumpenanlagen häufiger überdimensioniert wurden und in zwei Fällen sogar bivalente Systeme eingebaut wurden, obwohl die Wärmepumpen den Bedarf auch alleine hätte abdecken können. Bei den Gebäuden mit mehr als etwa 10 kW Heizlast sind die Wärmepumpen eher kleiner dimensioniert als die berechnete Heizlast. Viele der Gebäude haben einen zweiten unabhängigen Wärmeerzeuger (Biomasse-Ofen), der im Winter eine ggf. benötigte höhere Heizleistung bereitstellen kann, was aber nach Aussagen der Gebäudebesitzer nicht bei der Auslegung der Wärmepumpe berücksichtigt wurde (siehe Auswertung der Befragung im Abschnitt 3.5.1).

Aus den Gesprächen mit den Teilnehmenden und auch aus der Befragung (siehe Kapitel 3.5) haben sich kaum Auffälligkeiten gezeigt, dass gewünschte Raumtemperaturen nicht erreicht wurden bzw. zwingend mit dem

⁴ Wärmenennleistung nach EU Verordnung zur Richtlinie 2009/125/EG, Bezugsaußentemperatur -10°C.

Biomasseofen zugeheizt werden musste. Dies könnte ein Hinweis sein, dass Heizlasten, die rechnerisch über Bauteilkennwerte nach Baualtersklassen ermittelt wurden, die realen Heizlasten tendenziell überschätzen. Jedoch sind auch die Winter oft nicht so kalt, so dass die Heizlastgrenzen in der Regel nicht erreicht werden. Die Problematik der überschätzten Heizenergiebedarfe ist auch aus Energiebedarfsberechnungen mit Normrandbedingungen bekannt. Hier liegen bei älteren Gebäuden die Bedarfswerte höher als die gemessenen Verbräuche ([Loga et al. 2019] Abschnitt 4.2.3). Die Gründe hierfür können vielfältig sein. Bei EZFH werden oft nur Teilbereiche auf Auslegungstemperatur beheizt, Schlaf-, Gästezimmer und Hobbyräume sind häufig niedriger oder nicht beheizt. Zudem werden für die Heizlastberechnungen häufig Bauteil-U-Werte der entsprechenden Baualtersklasse verwendet, die tendenziell höher angesetzt sind, da die wirklichen Baumaterialien nicht bekannt sind. Auch werden bei der Berechnung der Heizlast der Gebäude interne und solare Wärmegewinne nicht berücksichtigt.

Bild 29: Übersicht Heizlast der Gebäude und Wärmenennleistung der Wärmepumpen bei 55°C



3.2.3 Heizkörpertausch und Gebäudehülle

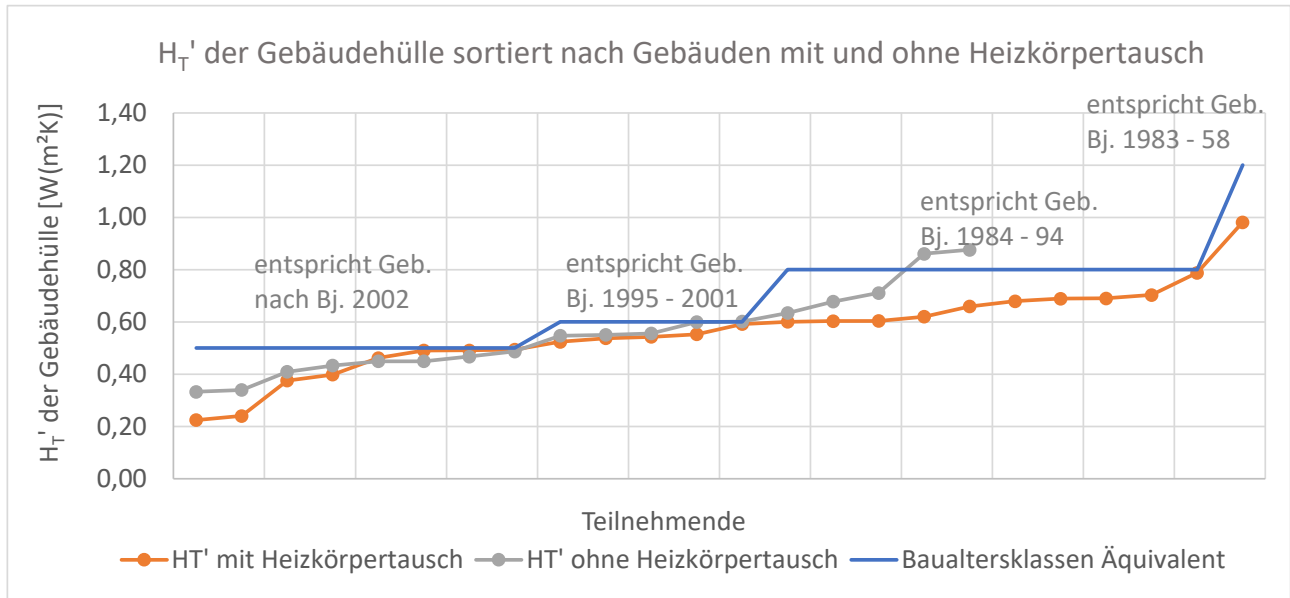
Betrachtet man die Daten zum Heizkörpertausch, stellt sich die Frage ob es einen erkennbaren systematischen Zusammenhang zwischen der Güte der Gebäudehülle, also dem H_T' -Wert, dem Baualter oder dem Heizwärmebedarf der Gebäude und einem Heizkörpertausch gibt. Um diesen Punkt zu beleuchten, wurden die Gebäude genauer betrachtet.

In Bild 30 sind die Gebäude nach H_T' -Wert aufsteigend gereiht dargestellt. Es sind Daten von 18 Gebäude ohne und 24 mit Heizkörpertausch verfügbar. Wie in der Grafik ersichtlich, liegen alle Gebäude bis auf drei in einem H_T' -Bereich (bzw. der energetischen Qualität der Gebäudehülle) von Gebäuden die nach 1994 gebaut wurden. Aus den Daten kann kein eindeutiger H_T' -Wert der Gebäudehülle abgeleitet werden, ab dem eine Wärmepumpen ohne Heizkörpertausch sicher betrieben werden kann. Zwei Gebäude mit einem H_T' -Wert von leicht unter $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ werden ohne Heizkörpertausch mit der Wärmepumpe beheizt. Allerdings wurden auch bei vielen Gebäuden mit deutlich besserer Gebäudehülle Heizkörper getauscht.

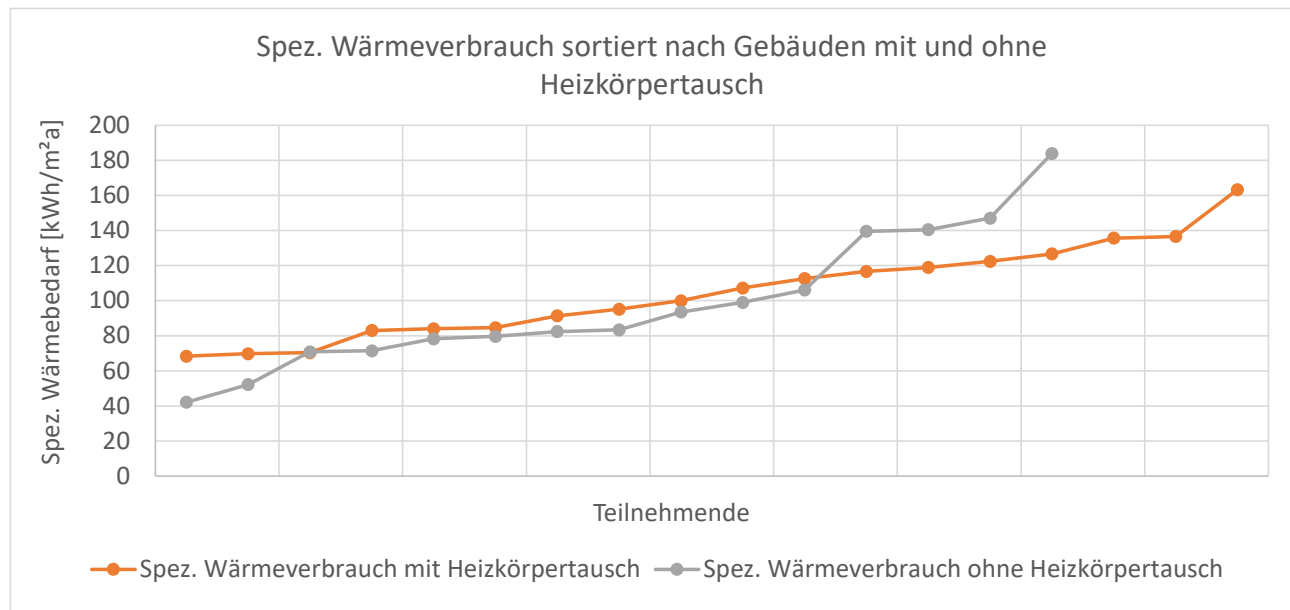
Das lässt den Rückschluss zu, dass bei Gebäuden die auf das energetische Niveau nach der 1. Wärmeschutzverordnung gebracht wurden (H_T' kleiner als $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), potentiell die Möglichkeit besteht diese ohne einen Heizkörpertausch mit einer Wärmepumpe beheizen zu können. Die Vielzahl der Gebäude mit und ohne Heizkörpertausch und einer vergleichbaren Gebäudehülle weist darauf hin, dass

- a) weitere Faktoren wie z. B. die Luftdichtigkeit oder die Nutzung einen ggf. nicht zu unterschätzenden Einfluss haben können und
- b) die Raumgeometrie und vor allem auch die vorhandenen Heizkörper so stark variieren, so dass eine individuelle Betrachtung der einzelnen Räume zwingend benötigt wird.

Bild 30: H_T' -Werte der Gebäude mit und ohne Heizkörpertausch



In Bild 31 ist der mit Energieprofil XL ermittelte spezifische Heizwärmebedarf der Gebäude jeweils getrennt für die Gebäude mit und ohne Heizkörpertausch aufgetragen. Auch hier ist wie beim H_T' -Wert kein Zusammenhang zwischen spezifischem Energiebedarf des Gebäudes und einem Heizkörpertausch erkennbar. Vielmehr zeigt sich, dass auch Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von bis zu 180 kWh/(m²a) ohne einen Heizkörpertausch mit einer Wärmepumpe beheizt werden. Hier ist vermutlich die Dimensionierung bzw. Überdimensionierung der Heizkörper der entscheidende Faktor – bei neueren Gebäuden wurden die Heizkörper vermutlich häufiger nach Norm ausgelegt und sind damit weniger überdimensioniert.

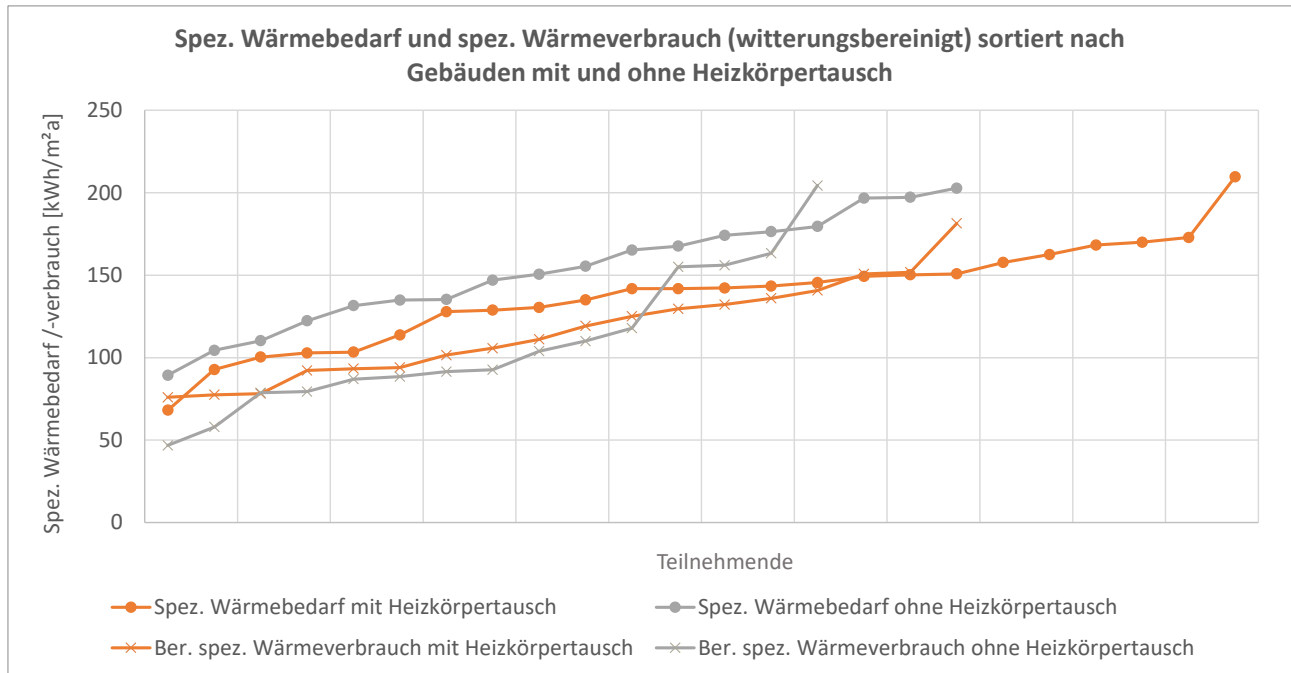
Bild 31: Spezifischer Wärmebedarf der Gebäude mit und ohne Heizkörpertausch

In Bild 32 sind zu den rechnerisch mit Energieprofil XL ermittelten Werten die Verbrauchsdaten der Gebäude für den Zeitraum 01.07.2023 bis 30.06.2024 dargestellt. Bei den Energieverbrauchswerten sind die Messwerte aus den Wärmepumpen und von zusätzlichen zentralen und dezentralen Wärmeerzeugern dargestellt. Kaminöfen wurden mit den mittleren Holzmengen nach Angaben der Teilnehmer eingerechnet. Thermische Solaranlagen wurden pauschal nach Kollektorfläche /-art und Einsatzzweck (WW oder WW u. Hgz.) berücksichtigt.

Die Reihung erfolgt nach der Höhe der Kennwerte, es besteht kein Zusammenhang zwischen der Position von Verbrauchswerten und Bedarfswerten, zumal nicht von allen Gebäuden mit Bedarfswerten auch Verbrauchswerte vorlagen.

Wie erwartet, liegen die realen Verbrauchswerte (mit x gekennzeichnet) auch nach der Witterungsbereinigung noch deutlich unterhalb der Bedarfswerte. Auffällig ist hierbei, dass gerade bei den Gebäuden ohne Heizkörpertausch die realen Verbrauchswerte niedriger liegen als bei den Gebäuden, bei denen Heizkörper getauscht wurden.

Bild 32: Spezifischer Wärmebedarf und spezifischer Wärmeverbrauch (witterungsbereinigt) sortiert nach Gebäuden mit und ohne Heizkörpertausch



3.3 Messdatenauswertung

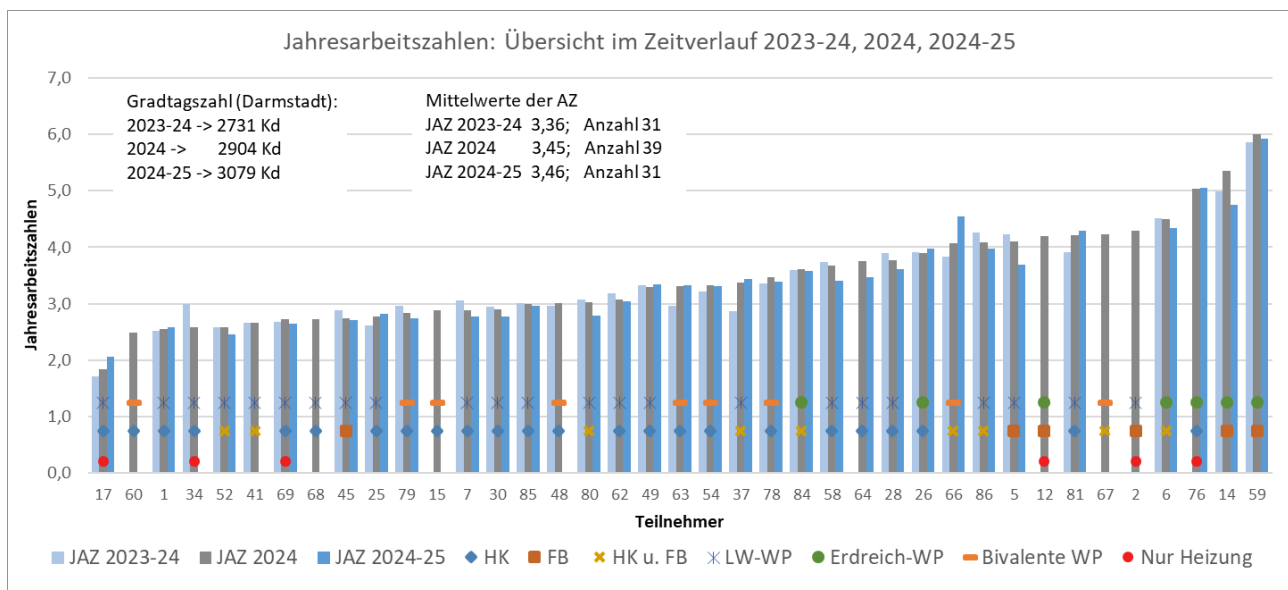
Aus den in Kapitel 3.2 beschriebenen 48 Gebäuden bzw. Teilnehmern konnten für die Datenauswertung der Jahresarbeitszahl 2024 insgesamt 39 komplette Datensätze gewonnen werden. Bei zwei weiteren Teilnehmern konnten leider keine konsistenten Daten erhoben werden. Bei sieben Teilnehmern haben kürzere oder längere Datenausfälle durch technische Störungen oder unplausible Daten dazu geführt, dass diese nicht in den Auswertungen berücksichtigt werden konnten. Die Ergebnisse dieser Anlagen sind jedoch soweit möglich in den Gebäudesteckbriefen im Anhang I dokumentiert.

Die dargestellten Ergebnisse für die Jahresarbeitszahlen sind immer mit Berücksichtigung aller Energieverbräuche innerhalb der Bilanzgrenze berechnet. Wenn Heizstäbe verwendet wurden, dann sind diese in die Berechnung der Jahresarbeitszahlen mit eingegangen.

3.3.1 Heizperiodenvergleich der Jahresarbeitszahlen aller Anlagen

Die Datenerfassung startet bei den meisten Teilnehmern im ersten Halbjahr 2023 und endete zum Juli 2025. Ziel der Analysen war es zwei vollständige Heizperioden auswerten zu können. Die meisten Daten liegen jedoch vom Kalenderjahr 2024 vor, daher wird die Auswertung im vorliegenden Bericht, soweit nicht anders beschrieben ist, immer auf diesen Zeitraum bezogen. Von den Heizperioden 2023/24 und 2024/25 liegen jeweils 31 vollständige Datensätze vor, vom Kalenderjahre 2024 39 Datensätze. In Bild 33 sind die Daten für alle auswertbaren Jahreszeiträume dargestellt. Die mittleren Jahresarbeitszahlen der Heizperioden steigt leicht von 3,36 auf 3,47 an, jedoch bezieht sich dieser Mittelwert nicht auf die gleiche Zusammensetzung von Einzelanlagen. Die Heizperiode 2023/24 war auf Basis der Gradtagzahlen die Wärmeste im Betrachtungszeitraum. Das spiegelt sich auch in den JAZ vieler Anlagen (z. B. Anlage 52, 45, 79, 7 usw.) wider. Einige Teilnehmer haben im Laufe des Erfassungszeitraum mehrfach Einstellungen verändert, so dass teilweise ein gegenläufiger Effekt zu sehen ist. Beispielsweise hat Teilnehmer 66 die Steigung der Heizkurve seines Heizkörperkreises von anfänglich 1,1 auf 0,8 und das Niveau von 1 auf -3 in mehreren Stufen abgesenkt.

Bild 33: Jahresarbeitszahlen im Verlauf über die Heizperioden 2023-24, 2024, 2024-25



Zusatzsymbole in den Grafiken

Weiche Faktoren: Heizlastberechnung, hydraulischer Abgleich und Energieberatung in den Grafiken

Beim Ortstermin wurde alle Teilnehmer befragt, ob eine Heizlastberechnung erfolgt ist, der hydraulische Abgleich wirklich durchgeführt wurde und ob eine Energieberatung zum Gebäude bzw. der Anlage erfolgte. Die in den folgenden Auswertungen markierten Teilnehmer haben angegeben, dass sie sich sicher sind, dass diese Maßnahmen durchgeführt wurden, Teilnehmer die sich nicht sicher waren oder bei denen die Maßnahmen nicht durchgeführt wurden, sind in den Grafiken nicht markiert. Da die Angaben nicht geprüft werden konnten, besteht eine Unsicherheit ob die Einschätzung der Eigentümer korrekt ist, aber auch ob die Maßnahmen auch fachlich richtig ausgeführt wurden.

Diese Faktoren haben für sich betrachtet keinen direkten Einfluss auf die Effizienz der eingebauten Anlagen. Wurde jedoch eine korrekte Raumweise Heizlastberechnung durchgeführt, kann die Anlage besser zu den Anforderungen des Gebäudes passen. Umso präziser die Heizlast berechnet wurde, umso besser können die Heizkörper hydraulisch abgeglichen werden. Eine Energieberatung kann dazu führen, dass der Gebäudebesitzer verstärkt darauf achtet, dass Heizlast und Abgleich durchgeführt werden und ein besseres Verständnis für den effizienten Betrieb der Wärmepumpenanlage vorhanden ist. Diese Faktoren können im besten Fall in einer besseren Einstellung der Gesamtanlage und einer niedrigeren Vorlauftemperatur resultieren.

Weitere Auswertungen dazu sind in Abschnitt 3.5 (Auswertung der Eigentümerbefragung) zu finden.

3.3.2 Luft-Wasser-Wärmepumpen

Unabhängig vom Wärmeübertragungssystem liegt die mittlere JAZ der 23 LW-WP bei 3,16 mit einer Streuung von 1,8 – 4,3. Die 15 LW-WP, die ihre Wärme nur über Heizkörper abgeben, lagen immerhin noch bei einer mittleren JAZ von 3,05. Wird die Wärme über eine Flächenheizung abgegeben, steigt die mittlere JAZ der Anlagen auf 3,70. Hier sind jedoch nur drei Anlagen in der Auswertung vorhanden und der Wert besitzt somit nur eine begrenzte Aussagekraft. Ausgewertet wurde weiterhin noch alle Anlagen, die einen Heizkörperkreis besitzen. Hier liegt die mittlere JAZ bei 3,07 und damit sehr nah an den Anlagen mit nur Heizkörpern⁵. Die fünf Gebäude mit gemischten Wärmeübergabesystemen mit Heizkörpern und Fußbodenheizung liegen mit einer mittleren JAZ von 3,14 dicht bei den Anlagen mit nur Heizkörpern. In Tabelle 3 sind alle Mittelwerte der verschiedenen Wärmeübergabesysteme aufgeführt.

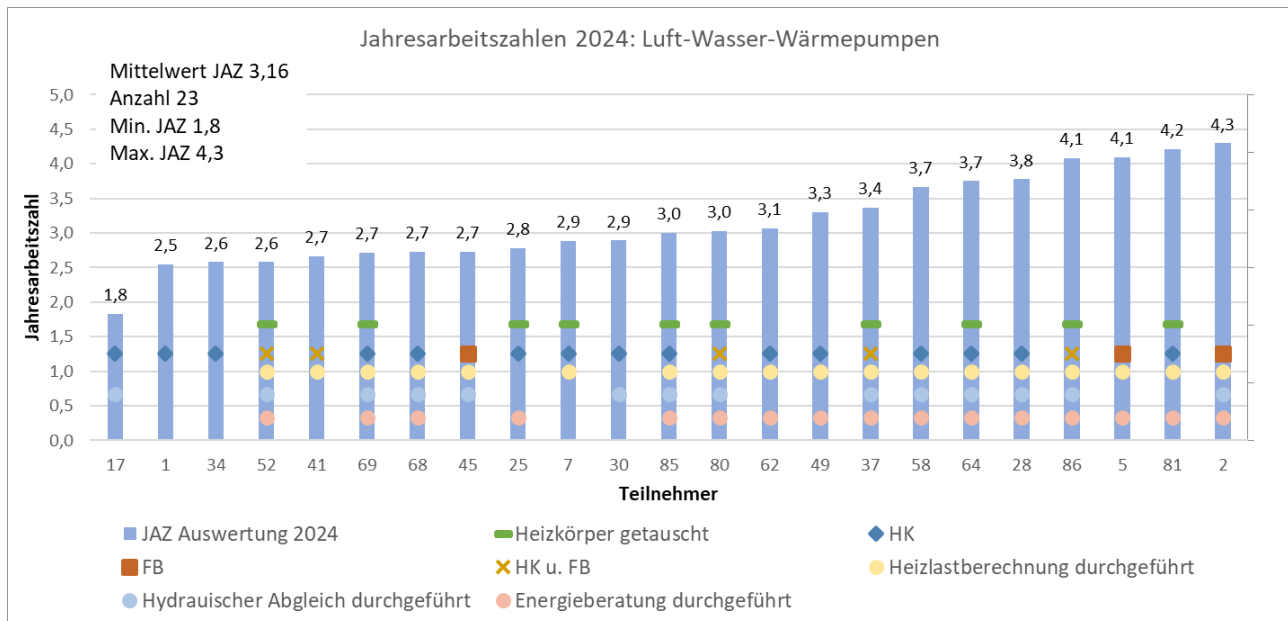
Tabelle 3: Mittlere Jahresarbeitszahlen der Luft-Wasser-Wärmepumpen (2024)

	Alle LW-WP	Nur mit Heizkörper (HK)	Fußboden / Flächenheizung (FB)	Mit mindestens einem Heizkörperkreis	Mit gemischter Übergabe HK u. FB
Anzahl	23	15	3	20	5
Mittelwert JAZ	3,16	3,05	3,70	3,07	3,14
Maximum JAZ	4,3	4,2	4,3	4,2	4,1
Minimum JAZ	1,8	1,8	2,7	1,8	2,6

⁵ Eine separate Auswertung der Anlagen mit eher höherer Auslegungs-Vorlauftemperaturen im Bereich von 45 °C bis ca. 55 °C führt dabei auf einen Durchschnittswert der Jahresarbeitszahl von immerhin noch 2,85 (12 Fälle, s. auch Kap. 5.3)

Bei den Mittelwerten wurde bewusst eine zweite Nachkommstelle angegeben, um die Unterschiede besser aufzuzeigen, bei den einzelnen Anlagen bewusst nicht, um keine zu hohe Genauigkeit vorzutäuschen. Betrachtet man das Teilnehmerfeld der einzelnen Anlagen in , ordnen sich die Anlagen mit Fußboden-/Flächenheizung bei den Anlagen mit einer höheren JAZ ein.

Bild 34: Jahresarbeitszahlen Luft-Wasser-Wärmepumpen



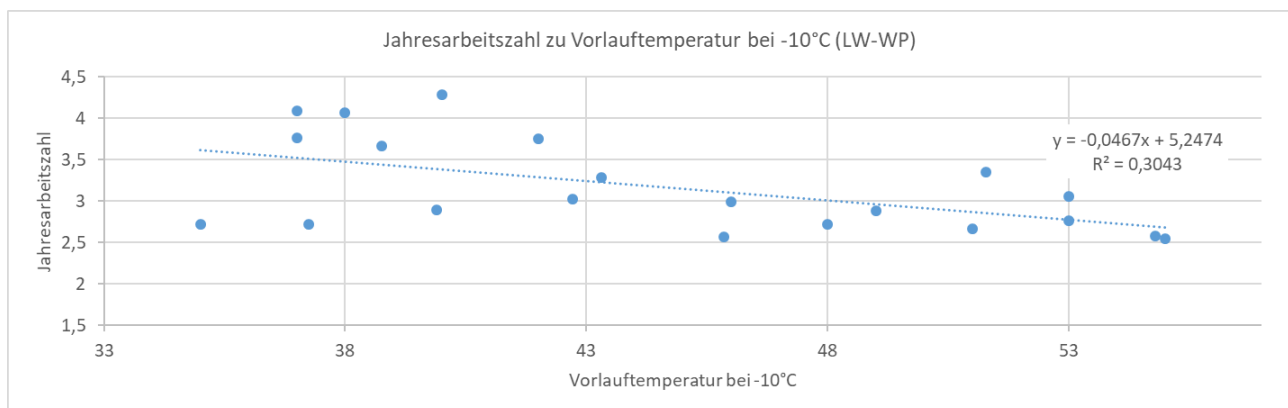
Nur Anlage 45 liegt trotz Flächenheizung mit niedrigen Vorlauftemperaturen und ansonsten unauffälliger Installation bei einer JAZ von nur 2,7. Diese Anlage wurde auch im Rahmen der Vor-Ort Termine (Abschnitt 3.7, Gebäudedatenblatt im Anhang H) besichtigt und außer einer längeren, wenig gedämmten Kältemittelleitung keine offensichtlichen Gründe festgestellt. Anlage 17 mit der niedrigsten JAZ wurde auch bei einem zweiten Vor-Ort-Termin besichtigt. Hier gibt es einige Vermutungen zur niedrigen JAZ: Die Heizkurve ist zwar recht flach eingestellt, startet jedoch schon mit 35°C bei 18°C Außentemperatur, so dass schnell Vorlauftemperaturen von 40°C überschritten werden. Die Wärmepumpe versorgt nur die Heizung, Warmwasser wird dezentral bereit. Es gibt keinen Pufferspeicher im System, nur einen sehr kleinen Speicher im Rücklauf, um die benötigte Abtauenergie bereit zu stellen. Der hydraulische Abgleich wird von elektronischen Heizkörperthermostaten automatisch übernommen, die auch für alle Räume entsprechend der Nutzung unterschiedlich geregelt sind. Der Wohnbereich wird zusätzlich von einem Kachel-/Grundofen beheizt. In diesem Zusammenspiel der Regelungen könnte das Problem liegen. Die Raumtemperaturen in den Nebenräumen werden oft abgesenkt und im Wohnbereich sorgt der Ofen häufig für ausreichend Wärme, so dass auch hier die Heizkörper nur wenig durchströmt werden. Ohne Pufferspeicher kann die Wärmepumpe ihre Wärme wahrscheinlich häufig nicht abgeben und läuft so in einem nicht optimalen Betrieb.

Die Wärmepumpen mit hohen Arbeitszahlen im Bereich von über 3,5 werden (außer Anlage 81) mit sehr niedrigen Vorlauftemperaturen von 42 °C und weniger bei -10°C Außentemperatur betrieben, was schon fast dem Temperaturniveau einer Fußbodenheizung entspricht. Zudem haben alle Teilnehmer mit Luft-Wasser-Wärmepumpen, die eine JAZ von 3,0 oder drüber erreichten angegeben, dass sie im Vorfeld eine Energieberatung haben durchführen lassen und auch eine Heizlastberechnung sicher durchgeführt wurde. Das der hydraulische Abgleich sicher durchgeführt wurde, gaben immerhin noch 8 von 12 Teilnehmern an.

Anlage 81 kann als Ausreißer nach oben beschrieben werden, da sie mit Heizkörperbeheizung und einer relativ hohen Vorlauftemperatur von 56 °C bei -10 °C trotzdem eine JAZ von 4,2 erreicht. Sie ist in einem kleinen Mehrfamilienhaus montiert, die Anlage besitzt bauartbedingt keine Kurbelwellenheizung und im Außengerät keine Frostschutz- oder Abtauheizungen. Die Wärmeerzeugung wird über interne WMZ und der Stromverbrauch über separat montierte Stromzähler gemessen. Das Gebäude in Blockrandbebauung ist komplett saniert und alle Heizkörper wurden durch Niedertemperaturheizkörper ersetzt. Die AZ der Messzeiträume lagen nur leicht unterhalb der COP Angaben des Herstellers in den jeweiligen Temperaturbereichen. Die innerstädtische Lage mit etwas höheren Lufttemperaturen könnte zur hohen JAZ beitragen. Da keine offensichtlichen Ungereimtheiten gefunden wurden, verbleibt die Anlage als effizienteste Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Heizkörperbeheizung im Teilnehmerfeld.

Trägt man die JAZ über der Vorlauftemperatur bei -10 °C auf, zeigt sich der erwartete Trend einer mit wachsender Vorlauftemperatur sinkenden Arbeitszahl (Bild 35). Die Teilnehmer 17 und 81 sind in dieser Darstellung als Ausreißer entfernt, da beide Werte eher untypisch sind und als Maxima bzw. Minima die Kurve verzerren. Die resultierende Funktion deutet auf eine Steigerung der JAZ von rund 0,1 pro 2 K Absenkung der Vorlauftemperatur im Teilnehmerfeld hin.

Bild 35: Jahresarbeitszahl über der Vorlauftemperatur bei -10 °C aufgetragen



Neben dem Einflussfaktor Vorlauftemperatur ist allerdings ebenfalls die Effizienz des Wärmepumpenaggregats zu beachten. Eine gemeinsame Analyse beider Einflussfaktoren wird später in Kapitel 5.3 durchgeführt. Die Bauart der Wärmepumpe – Monoblock oder Split-Gerät – zeigte keinen Einfluss auf die JAZ.

3.3.3 Bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpen

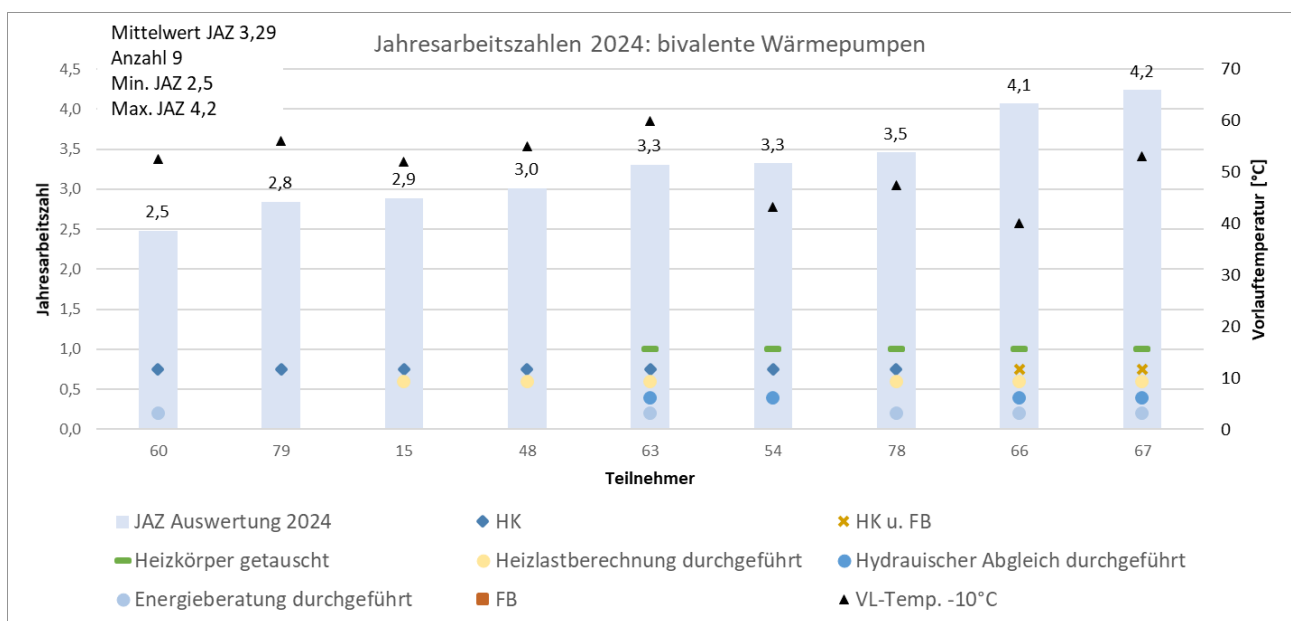
Alle bivalenten Wärmepumpen im Feldtest sind Luft-Wasser-Wärmepumpen, die mit einem Gasbrennwertkessel kombiniert sind. Eine Kombination von einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einem Pelletkessel hat auch teilgenommen, diese ist jedoch aufgrund eines Datenausfalls nicht in der Gesamtauswertung enthalten. Sieben der bivalenten Anlagen werden nur mit Heizkörpern betrieben, zwei mit gemischten Systemen mit zusätzlicher Fußbodenheizung. Die resultierende mittlere JAZ aller bivalenten Wärmepumpen liegt bei 3,29 (Tabelle 4) und damit leicht über denen der reinen Luft-Wasser-Wärmepumpen⁶. Die sieben Anlagen, die nur mit Heizkörpern die Wärme übertragen, haben eine etwas niedrigere mittlere JAZ von 3,04.

⁶ Hier wird nur die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe betrachtet und nicht die Gesamteffizienz aus Wärmepumpe und Kessel, da dies für die Fragestellung im Projekt weniger relevant war und für die Auswertung der Gesamteffizienz in der Regel zu wenig Daten zur Verfügung standen.

Tabelle 4: Mittlere Jahresarbeitszahlen bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpen (2024)

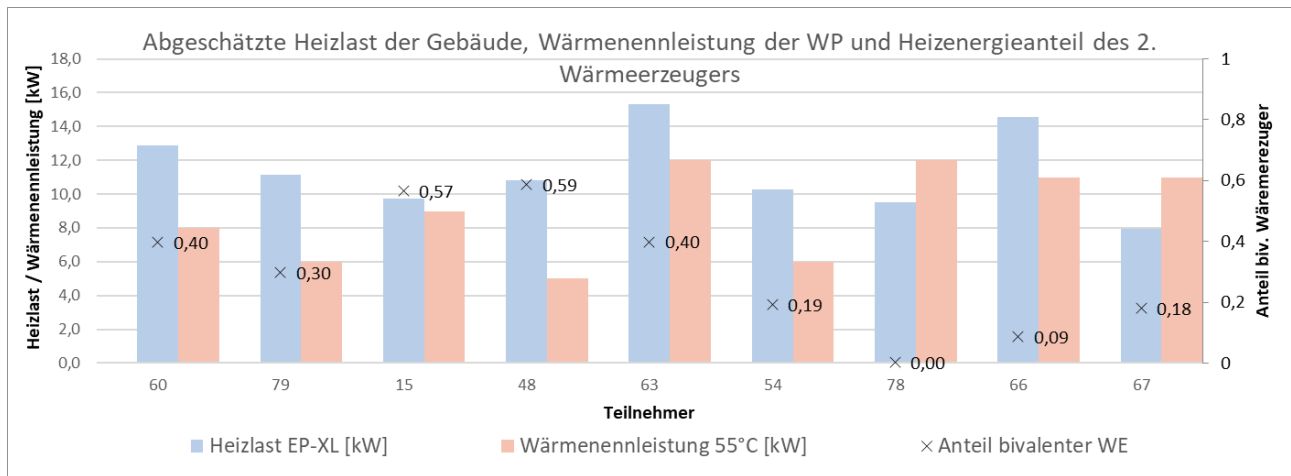
	Alle bivalenten WP	Bivalente WP nur HK
Anzahl	9	7
MW	3,29	3,04
Max	4,2	3,5
Min	2,5	2,5

In der Detailauswertung der bivalenten Wärmepumpenanlagen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den monoenergetischen Luft-Wasser-Wärmepumpen, mit niedrigeren Vorlauftemperaturen steigen die erreichten JAZ (Bild 36). Auch hier wurde bei den Anlagen mit einer Jahresarbeitszahl von 3,0 und höher häufiger eine Heizlastberechnung und ein hydraulischer Abgleich durchgeführt.

Bild 36: Jahresarbeitszahlen bivalenter Luft-Wasser-Wärmepumpen

In Bild 37 ist für die Gebäude mit bivalenten Wärmepumpen die abgeschätzte Heizlast des Gebäudes und die Wärmenennleistung der Wärmepumpe aufgetragen. Nur bei vier Anlagen ist die Leistung der Wärmepumpen deutlich geringer als die Heizlast des Gebäudes. Der Gaskessel muss bei diesen 30 – 59 % der Wärmeenergie bereitstellen. Bei den Anlagen 54, 78, 66 und 67 ist der verbleibende Anteil des Gaskessels mit unter 20 % sehr gering. Bei Teilnehmer 78 und 67 ist die abgeschätzte Heizlast geringer als die Wärmenennleistung der Wärmepumpe und somit zumindest bezüglich der Heizleistung eine 100 % Beheizung mit der Wärmepumpe möglich.

Bild 37: Abgeschätzte Heizlast des Gebäudes („EP-XL“), Wärmenennleistung der WP und der Heizenergieanteile des bivalenten Wärmeerzeugers



Resümee bivalente Wärmepumpen:

Die bivalenten Wärmepumpen in der Felduntersuchung haben im Mittel 0,13 Punkte (+4 %) bessere Jahresarbeitszahl als die LW-WP. Theoretische Überlegungen zeigen drei Varianten für den Einsatz von bivalenten Systemen auf.

1. Die WP deckt etwa 1/3 der Heizleistung des Gebäudes ab und erzeugt damit etwa 60 % der Heizenergie. Diese Anlagen belasten das Stromnetz nur gering und können dennoch eine hohe Treibhausgas-Einsparungen generieren. Darunter fallen die Anlagen 79 und 48. Die Wärmepumpe der Anlage 79 deckt 70 % der Wärmeerzeugung, Anlage 48 dagegen 41 %.
2. Die Wärmepumpen ist so ausgelegt das nach weiteren Sanierungsschritten die WP die Heizung des Gebäudes komplett übernehmen kann. Diese Variante ist die Vorbereitung auf eine zukünftige Beheizung ausschließlich mit Wärmepumpe und vermeidet spätere Überdimensionierung. Hier könnte man die Anlagen 63, 54 zuordnen.
3. Die benötigte Vorlauftemperatur der Heizflächen wird von der WP nicht erreicht, daher kommt bei kälteren Temperaturen der bivalente Kessel zum Einsatz. Dies ist bei den Anlagen 15, 60 und wiederum 63 zu vermuten.

Bei den verbleibenden Anlagen 78, 66, 67 ist der Anteil des bivalenten Erzeugers so klein bzw. die Leistung der Wärmepumpen so groß, dass diese Gebäude sehr wahrscheinlich auch alleine mit der Wärmepumpe (und ggf. einen elektrischen Heizstab) beheizbar wären und der Kessel nur noch einen Backup darstellt.

Bei fast allen diesen Gebäuden wurde die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage auf eine für Wärmepumpen geeignetes Niveau abgesenkt, bei fünf Gebäuden wurden auch Heizkörper ausgetauscht. Der Heizkörper-tausch wurde bei zwei Gebäuden im Zuge einer größeren Sanierung durchgeführt und war nicht zwingend dem Einbau der Wärmepumpe geschuldet.

Wird die WP als Grundlastwärmerezeuger mit 1/3 der benötigten Heizlast des Gebäudes ausgelegt, ist es bei Gebäuden mit einer Heizlast von 12 kW und kleiner schwierig passende Wärmepumpen mit geringer Wärmenennleistung von 4 kW und weniger zu finden. Im Teilnehmerfeld hat die kleinste Wärmepumpe eine Wärmenennleistung von 5 kW.

3.3.4 Erdreich-Wärmepumpen

Die mittlere Jahresarbeitszahl der Erdreich-Wärmepumpen liegt über alle Anlagen bei 4,66. Die Anlagen mit Fußbodenheizung erreichen im Mittel 5,18 und die Anlagen mit mindestens einem Heizkörperkreis 4,26 (Tabelle 5). Damit liegen die Erdreich-Wärmepumpen bei der mittleren Jahresarbeitszahl um 1,5 Punkte (+47 %) über den mittleren Jahresarbeitszahlen der Luft-Wasser-Wärmepumpen im Teilnehmerfeld.

Tabelle 5: Mittlere Jahresarbeitszahlen Erdreich-Wärmepumpen (2024)

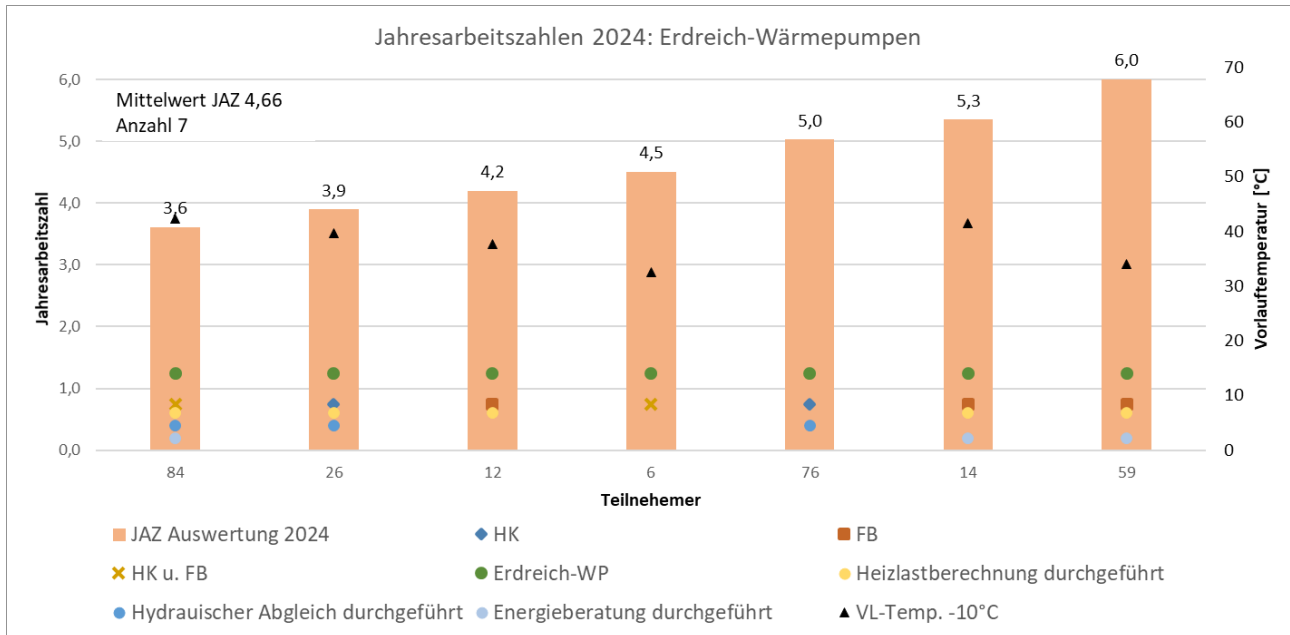
	Alle Erdreich-WP	Erdreich mit FB	Erdreich mit HK (nur HK und HK u. FB)
Anzahl	7	3	4
MW	4,66	5,18	4,26
Max	6,0	6,0	5,0
Min	3,6	4,2	3,6

Zu der Detailbetrachtung (Bild 38) muss angemerkt werden, dass Anlage 26 die bei den Erdreich-Wärmepumpen mit ausgewertete Grundwasser-Wärmepumpe ist. Anlage 76, die mit Heizkörpern betrieben wird, ist eine eher untypische Anlage. Der Besitzer hat diese selbst eingebaut, die Anlage dient nur der Raumheizung und die Vorlauftemperatur wird nicht über eine Heizkurve (Außentemperatur) gesteuert. Die Anlage wird auf eine Rücklauftemperatur von 29°C geregelt und die Raumweise Regelung erfolgt über normale Heizkörperthermostate, aus diesem Grund ist auch keine Vorlauftemperatur mit angegeben.

Anlage 60 mit der besten JAZ im Teilnehmerfeld ist eine Erdreich-WP aus dem Jahr 2017, die an eine vorhandene Bohrung angeschlossen wurde. Die Stromerfassung erfolgt über einen EVU Zähler, es liegen fast tägliche Anlagendaten vor, über die die Plausibilität der Daten geprüft werden konnte. Die Heizung wird mit einer niedrigen Vorlauftemperatur betrieben, die Warmwasserbereitung ist auf 46 °C und damit eher niedrig eingestellt, es ist keine Zirkulation vorhanden und nur ein geringer Warmwasseranteil von 7 % bei der Energieerzeugung.

Die Vorlauftemperatur bei -10 °C ist bei allen Anlagen eher niedrig. Ihr Einfluss ist aufgrund der geringen Anlagenzahl nicht auswertbar, gleiches gilt für die eher weichen Faktoren (Heizlastberechnung, hydraulischer Abgleich und Energieberatung), die ja im Endeffekt auch auf die eingestellte bzw. benötigt Vorlauftemperatur einwirken.

Bild 38: Jahresarbeitszahlen Erdreich-Wärmepumpen

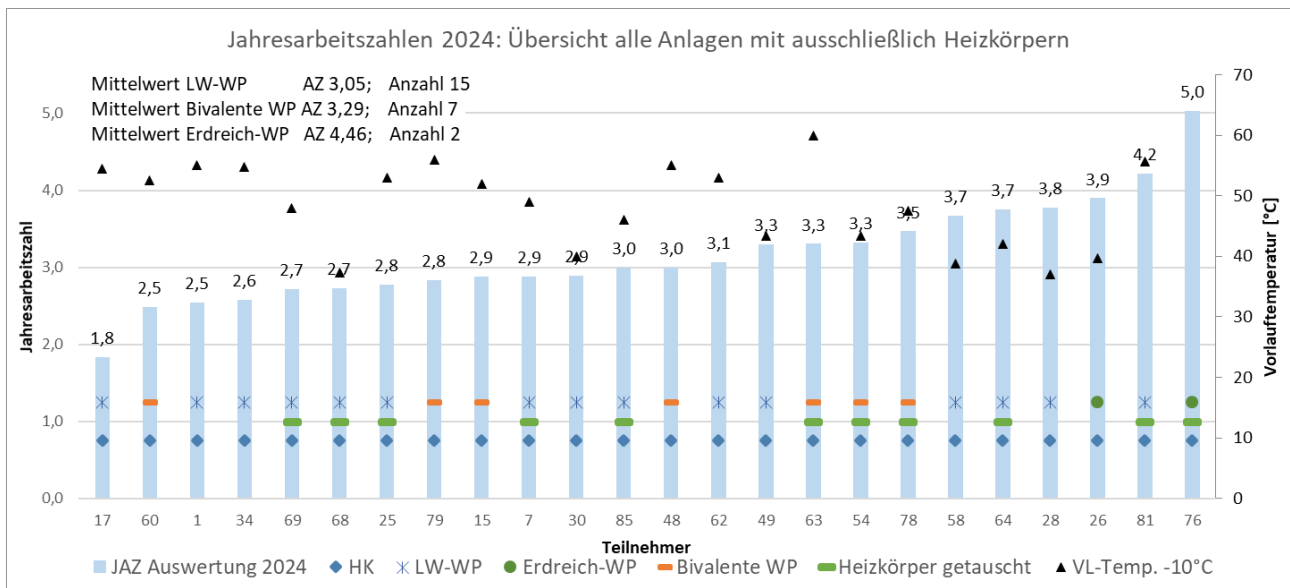


3.3.5 Einfluss des Wärmeübergabesystems

Anlagen mit Heizkörpern

Listet man alle Wärmepumpenanlagen auf, die nur mit Heizkörpern beheizt werden (Bild 39), liegen die mittleren JAZ der Luft-Wasser-Wärmepumpen bei 3,05 gefolgt von den bivalenten Wärmepumpen mit im Mittel 3,29. Im Diagramm sind die Vorlauftemperaturen bei -10 °C mit aufgetragen, gut zu erkennen ist die Tendenz von steigenden JAZ bei sinkender Vorlauftemperatur.

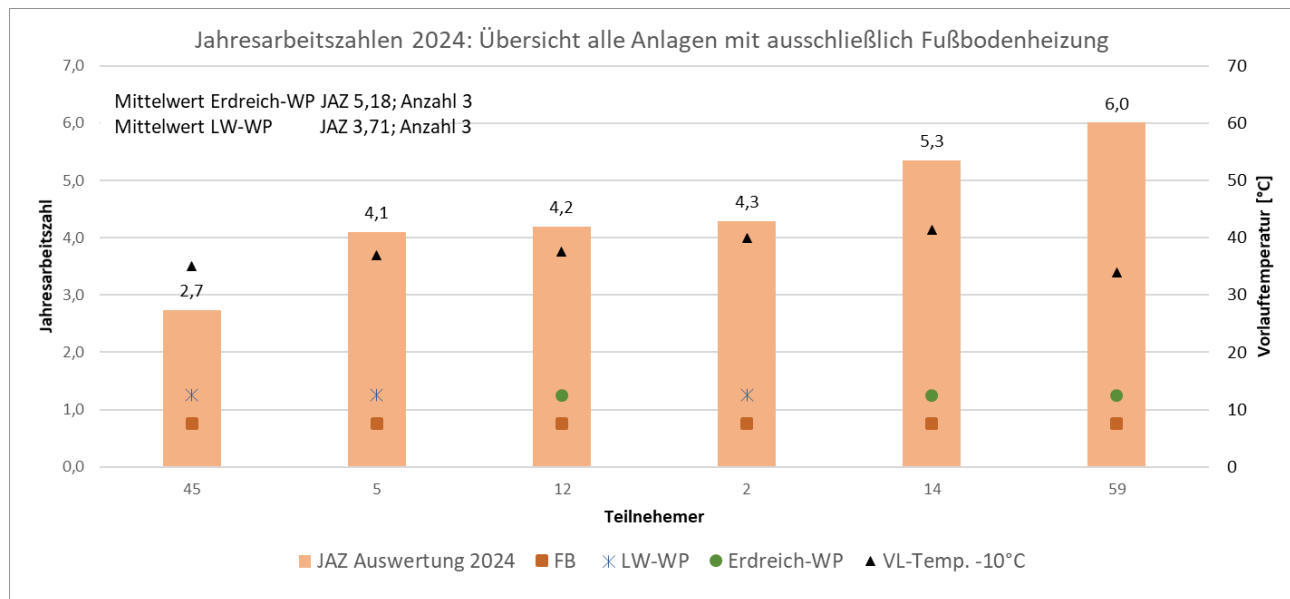
Bild 39: Jahresarbeitszahlen: Übersicht Anlagen mit ausschließlicher Heizkörperbeheizung



Anlagen mit Fußboden/Flächenheizung

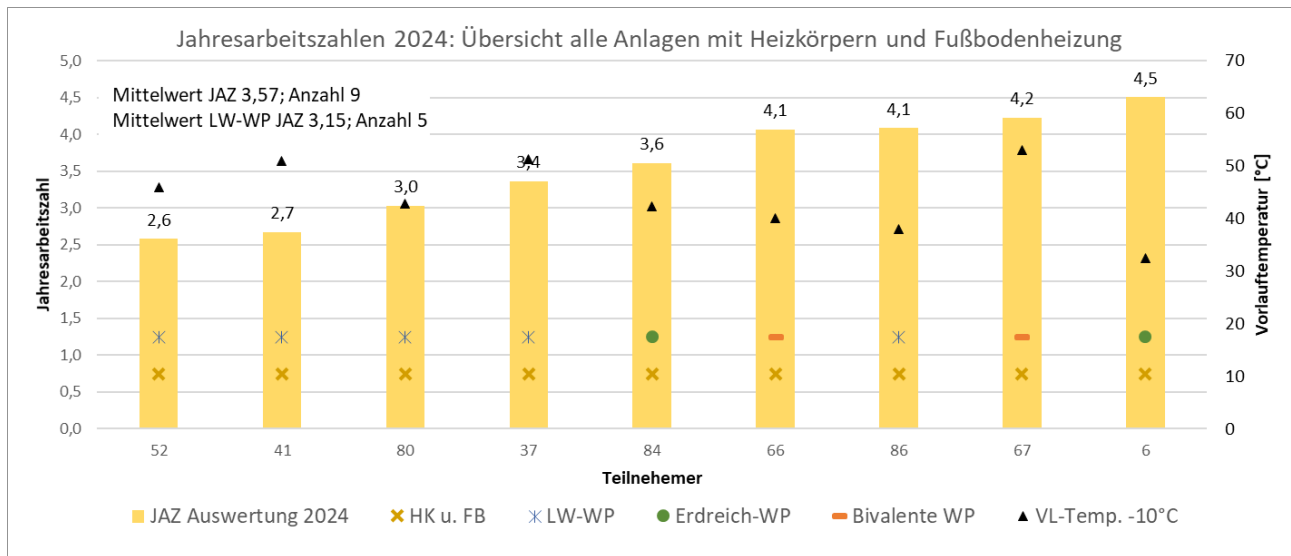
Für Wärmepumpen in Verbindung mit einer Flächenheizung lagen in der Auswertung nur sechs Anlagen vor, drei LW-WP und drei Erdreich-WP. Die LW-WP haben im Mittel eine JAZ von 3,71 und somit etwa 0,66 Punkte mehr als die LW-WP mit Heizkörperbeheizung, die Erdreich-Wärmepumpen liegen im Mittel bei einer JAZ von 5,18 (Bild 40). Um eine Tendenz über die Vorlauftemperatur zu erkennen, sind hier einerseits zu wenige Datensätze vorhanden und andererseits die Unterschiede bei den Vorlauftemperaturen von unter 41 °C im Maximum zu gering und werden durch andere Effekte überlagert.

Bild 40: Jahresarbeitszahlen: Übersicht Anlagen mit ausschließlich Flächenheizung



Gemischte Heizsysteme mit Heizkörpern und Fußbodenheizung

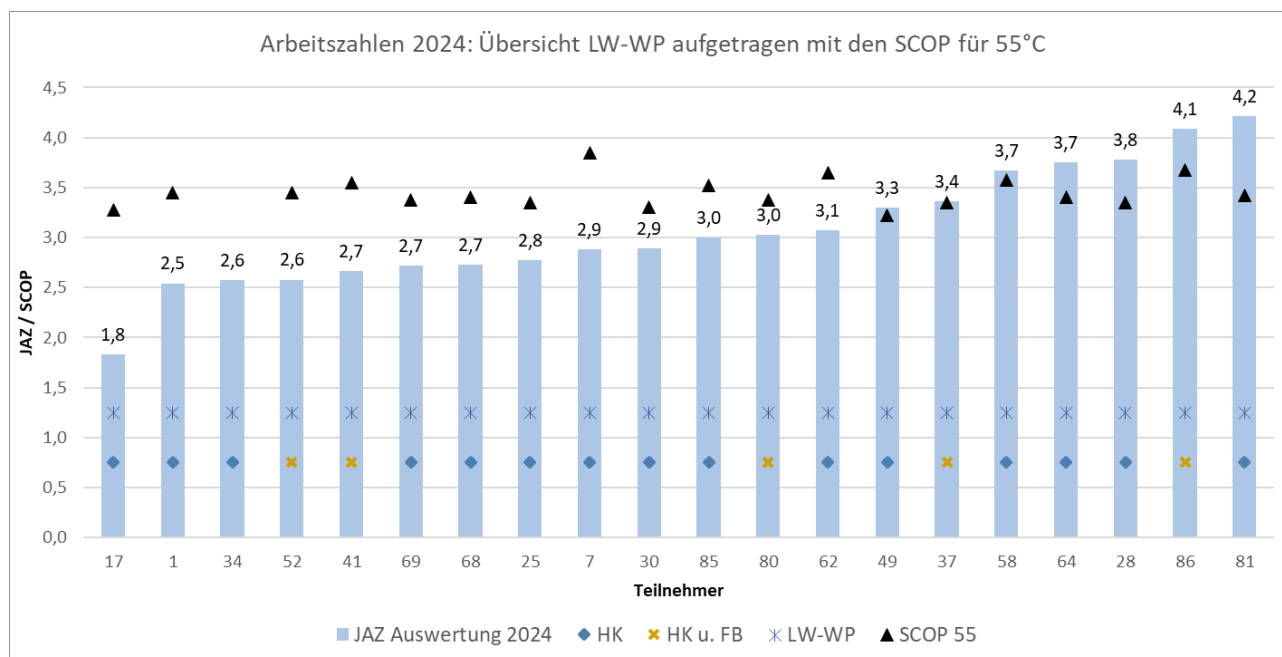
Bei den neun Anlagen mit gemischten Heizsystemen haben die bivalenten und die Erdreich-Wärmepumpen die höheren JAZ. Die fünf LW-WP im Feld haben eine mittlere JAZ von 3,15 (Bild 41) und liegen somit leicht oberhalb der LW-WP mit ausschließlicher Heizkörper Beheizung. Die eingetragenen Vorlauftemperaturen beziehen sich bei den gemischten Systemen immer auf die höchste vorhandene Heizkurve.

Bild 41: Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen mit gemischten Heizsystemen

Bei den Anlagen mit gemischten Wärmeübergabesystemen können die Fußbodenheizungen den Vorteil der niedrigeren Vorlauftemperatur in der Regel nicht ausspielen. Die Wärmepumpe muss bei einem gemischten System immer die höchste geforderte Temperatur der Heizkurve des Heizkörperkreises bereitstellen. Die niedrige Vorlauftemperatur des Fußbodenkreises wird in der Regel durch das Heruntermischen der höheren Temperatur des Heizkörperkreises erreicht. Bei Teilnehmer 6 und 86 werden die Heizkörperkreise mit der Temperatur des Fußbodenkreises betrieben, was zu geringeren Systemtemperaturen und hohen JAZ führt. Bei Teilnehmer 86 ist zudem das Gebäude auf einen sehr guten energetischen Standard saniert worden, was das Vorgehen vereinfacht.

3.3.6 Vergleich JAZ und SCOP der Luft-Wasser-Wärmepumpen

In Bild 42 sind alle LW-WP mit der gemessenen JAZ und dem berechneten Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) bei 55°C (umgerechnet aus dem η_s der BAFA-Liste der förderfähigen Wärmepumpen [BAFA 2023]) angegeben. Der SCOP der LW-WP schwankt grob um einen Wert von leicht unter 3,5. Eine Tendenz, dass mit höherem SCOP auch die JAZ der WP-Systeme steigt, kann hier nicht festgestellt werden. Im Teilnehmerfeld scheinen andere Faktoren einen größeren Einfluss auf die JAZ haben.

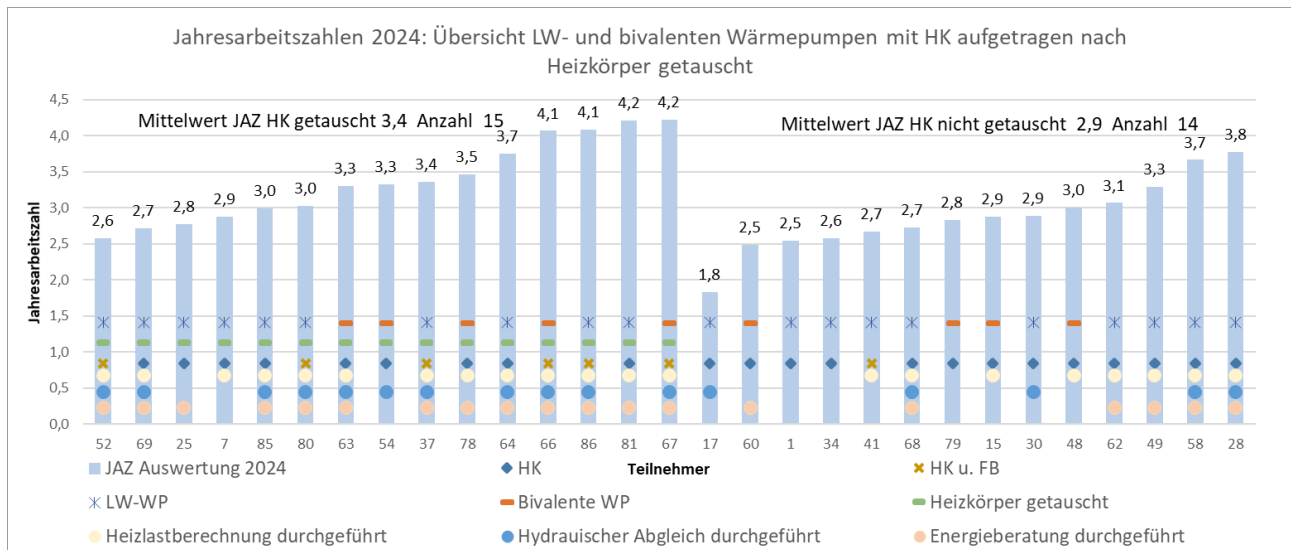
Bild 42: Jahresarbeitszahlen der LW-WP und SCOP für 55°C

3.3.7 Luft-Wasser- und bivalente Wärmepumpen mit und ohne Heizkörpertausch

Bei 15 der ausgewerteten LW- und bivalenten Wärmepumpen wurden im Zuge der Sanierung auch Heizkörper ausgetauscht, bei 14 nicht. In Bild 42 sind die Anlagen mit und ohne Heizkörpertausch nach der JAZ gereiht aufgeführt. Beim Heizkörpertausch hat es sich nicht immer nur um den Austausch der für die Beheizung mit niedriger Vorlauftemperatur nötigen Heizkörper gehandelt. In einigen Fällen wurden z. B. bei einer größeren Sanierung alle oder mehr Heizkörper getauscht, als nötig gewesen wären. In diesen Fällen wurden dann auch häufig Heizlastberechnungen, hydraulische Abgleiche und Energieberatungen durchgeführt.

Auffällig ist, dass bei den Gebäuden mit Heizkörpertausch häufiger Heizlastberechnungen und Energieberatungen durchgeführt wurden. Die vier Gebäude mit den höchsten JAZ und Heizkörpertausch haben jedoch auch komplett neue Heizsysteme erhalten und somit auch zum großen Teil neue gedämmte Verteilleitungen. Die Gebäude mit Heizkörpertausch liegen mit einer JAZ von 3,4 im Mittel über den Gebäuden ohne Heizkörpertausch mit einer mittleren JAZ von 2,9.

Bild 43: Heizkörpertausch bei LW und bivalenten Wärmepumpen



3.3.8 Elektrische Zusatzheizung / Heizstabeinsatz bei monoenergetischen Wärmepumpen

In vielen Wärmepumpen sind elektrische Zusatzheizungen eingebaut, diese können als sogenannte Heizpatrone (durchströmtes Einbauteil mit Heizfunktion) ausgeführt sein, direkt in der Hydraulikeinheit integriert oder auch als Heizstab im Puffer- oder Trinkwasserspeicher verbaut sein. In der Grafik und im Text sind diese Varianten alle als Heizstab (HS) bezeichnet.

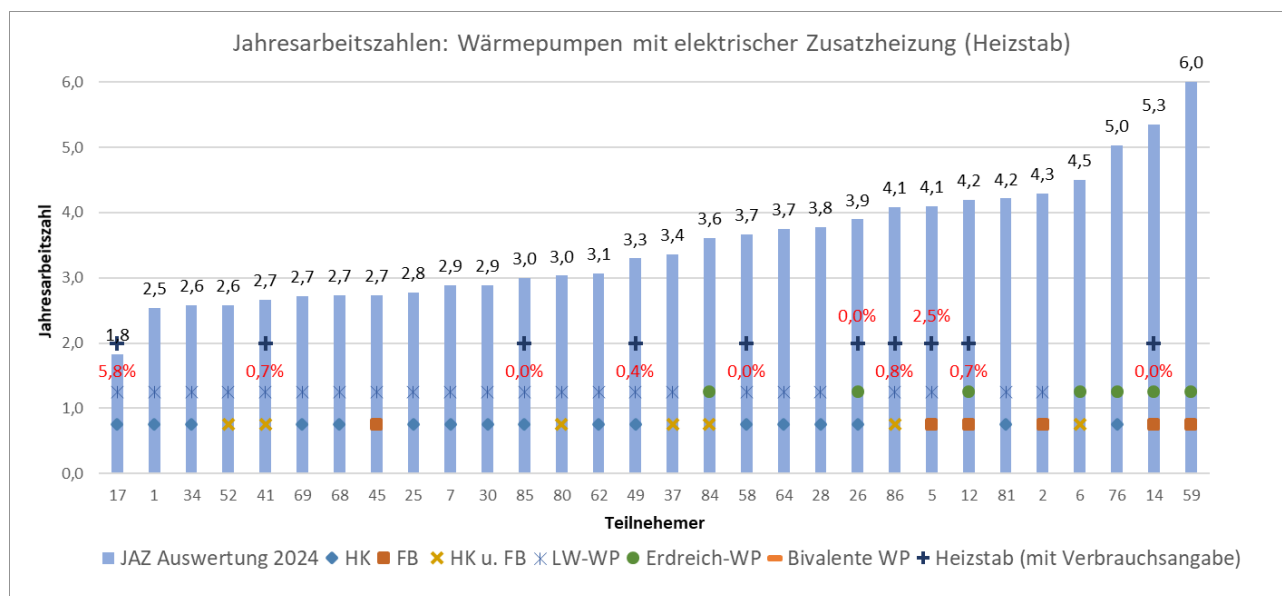
Der Heizstab übernimmt bei monoenergetischen Wärmepumpensystem, vor allem bei Luft-Wasser-Wärmepumpen eine Unterstützungsfunktion, wenn geforderte Heizungswasser- oder Trinkwassertemperaturen nicht bzw. nicht im geforderten / eingestellten Zeitrahmen erreicht werden.

Die Empfehlung für monoenergetische Wärmepumpen ist den Heizstabanteil auf unter 5 % zu begrenzen [DIN EN 15450]. Daher ist es auch interessant zu sehen wie sich der Heizstabeinsatz in realen Betrieb darstellt.

Im Teilnehmerfeld (mit Messdaten 47) sind bei 27 Wärmepumpen Heizstäbe vorhanden und auch theoretisch aktiv. Bei zusätzlichen 10 Anlagen sind Heizstäbe vorhanden aber entweder manuell ausgeschaltet (z. B. Sicherung aus) oder über die Software deaktiviert. Bei den restlichen 10 Anlagen ist kein Heizstab vorhanden.

Nicht bei allen Steuerungen werden die Energieverbräuche des Heizstabs getrennt mit ausgewiesen. In Bild 44 sind die 10 Wärmepumpen markiert, von denen Verbrauchsdaten des Heizstabs vorlagen und der Anteil an der Erzeugung der Wärmepumpe ausgewiesen werden konnte. Bei Teilnehmer 17 war der Heizstab im Winter eine Zeitlang durch eine Fehlbedienung unnötig aktiv. Die Anlagen mit 0 % haben einen aktiven Heizstab, dieser wurde jedoch nicht benötigt. Alle Anlagen (außer Teilnehmer 17) unterschreiten die Empfehlung der Norm von maximal 5 % deutlich. Im Mittel liegt der Anteil des Heizstabs bei den Anlagen mit ausgewiesenen Daten bei 0,6 % (ohne den Ausreißer Teilnehmer 17).

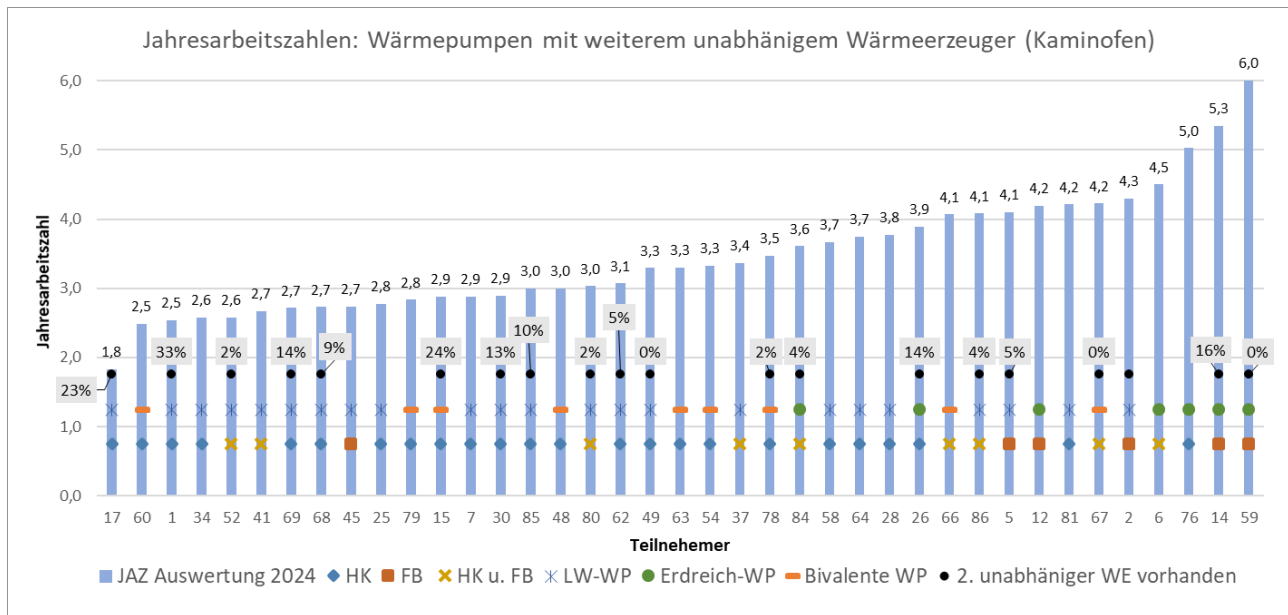
Betrachtet man die Monatswerte der Teilnehmer mit Heizstabeinsatz fällt auf, dass dieser nicht nur in den Wintermonaten auftritt, sondern auch im Sommer und den Übergangszeiten. In diesen Fällen ist der Anteil des Heizstabs meist sehr gering und scheint die Wärmepumpen lediglich in Aufheizphasen oder bei der Warmwasserbereitung (z. B. Legionellschaltung) kurzzeitig zu unterstützen.

Bild 44: Jahresarbeitszahlen: WP mit Heizstab und deren Anteil an der Wärmezeugung der WP

3.3.9 Beiträge weiterer unabhängiger Wärmeerzeuger

Viel der Teilnehmer haben weitere, von der zentralen Heizung unabhängige Wärmeerzeuger installiert und in Verwendung. In Bild 45 sind alle Teilnehmer aufgelistet und diejenigen mit einem weiteren unabhängigen Wärmeerzeuger markiert sowie der Anteil des Wärmeerzeugers als Anteil an der gesamten Wärmezeugung ausgewiesen. Die Wärmezeugung der Geräte wurde vereinfacht abgeschätzt, da in der Regel keine genaueren Angaben als eine abgeschätzte Menge an Stückholz oder Pellets vorlagen. Die Kaminöfen / Kachelöfen ohne Wassertasche wurden mit einem Jahresnutzungsgrad von 0,6 bewertet, mit Wassertasche mit einem Nutzungsgrad von 0,7 und Pelletöfen mit 0,8. Ist zusätzlich zum Kaminofen noch eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung vorhanden, wurde diese mit 300 kWh/m²a Kollektorfläche mit eingerechnet.

Die Nutzung der unabhängigen Wärmeerzeuger schwank stark, von täglicher Nutzung in der Heizperiode (Teilnehmer 1) bis zu gelegentlichem Deko-Feuer (z. B. Teilnehmer 78, 67, 59). Das spiegelt sich auch in den Anteilen der Wärmezeugung wieder. Ein Zusammenhang zwischen der Nutzung des Kaminofens und der erzielten Jahresarbeitszahl kann aus den Daten nicht abgeleitet werden.

Bild 45: Jahresarbeitszahlen: Wärmepumpen mit weiterem unabhängigem Wärmeerzeuger.

3.3.10 Zusammenfassung und Einordnung der Feldtestergebnisse

Für die 23 Gebäude mit **Luft-Wasser-Wärmepumpen** in der Felduntersuchung zeigt sich eine deutliche Spanne bei den Jahresarbeitszahlen zwischen 1,8 und 4,3 – im Mittel werden 3,16 erreicht, was als gutes Ergebnis für Bestandsgebäude gewertet werden kann und in der gleichen Höhe wie in [Günther et al. 2020] (29 Anlagen) liegt (3,1). Die Feldmessungen in der Schweiz in [Bernal et al. 2023] (Bestandsgebäude und Neubauten) ergaben bei LW-WP (14 Anlagen) eine mittlere Jahresarbeitszahl+ (im Gegensatz zur hier gewählten Bilanzgrenze in Bild 6 allerdings ohne Heizstäbe) von 3,4. Die Ergebnisse aus der Felduntersuchung in Hessen zeigen somit keine wesentlichen Abweichungen gegenüber den beiden Quellen aus anderen Regionen.

Bivalente Anlagen mit Luft-Wasser-Wärmepumpe und Kessel haben zwar in der Regel höhere Kosten, bieten aber auch eine Reihe von Vorteilen bezüglich der Integration in eine Bestandsanlage, wie die Begrenzung der erforderlichen Leistung bei un- oder teilsanierten Gebäuden und auch im Stromnetz (siehe Kapitel 6). In der Felduntersuchung zeigten sie jedoch keine wesentlich besseren Jahresarbeitszahlen gegenüber dem Mittel der LW-Wärmepumpen. Die Leistungsauslegen der Anlagen war sehr unterschiedlich: Neben Gebäuden, in denen der Kessel einen nennenswerten Beitrag zur Wärmeversorgung liefern musste, gab es auch Gebäude, in denen der Kessel kaum zum Einsatz kam.

Die sieben **Erdreichwärmepumpen** erreichten mit einer mittleren Jahresarbeitszahl von 4,66 deutlich höhere Werte und auch bei diesen zeigte sich eine deutliche Verbesserung der JAZ durch eine Flächenheizung gegenüber einer Wärmeverteilung mit Heizkörpern. Über die Auslegung der Erdsonden liegen keine Informationen vor. In [Günther et al. 2020] wurde für 12 Erdreich-Wärmepumpen eine mittlere Jahresarbeitszahl von 4,1 gemessen, in [Bernal et al. 2023] lag die mittlere Jahresarbeitszahl+ bei 4,6 (12 Anlagen). Somit liegen die in Hessen ausgewerteten Anlagen am höchsten, es ist jedoch eine Anlage mit maximal optimierter Betriebsweise und einer (plausiblen) JAZ von 6,0 mitberücksichtigt.

Es zeigte sich kein direkter Zusammenhang zwischen **SCOP** bei 55 °C (als Maßstab für die Energieeffizienz der Anlage im Jahreszyklus unabhängig von der Einbausituation) und der gemessenen Jahresarbeitszahl der Luft-Wasser-Wärmepumpen. Andere Einflussfaktoren wie die Wärmeübergabe (Heizkörper oder Flächenheizung) und die Betriebsweise der Anlage scheinen hier dominierend zu sein und könnten den Effekt des Anlagen-Effizienzkennwerts überlagern, zumal die SCOP-Werte in einem schmalen Band zwischen 3,2 und 3,8 liegen.

Nur bei einem Teil der Anlagen waren **Heizstäbe** vorhanden und davon wurden nur einige tatsächlich genutzt. Die Anlage mit der niedrigsten JAZ (1,8) besitzt den höchsten Heizstabanteil mit 5,8 %, die übrigen LW-Anlagen, bei denen der Heizstabanteil separat ausgewiesen werden konnte, besaßen in der Regel Anteile unter 1 % und JAZ zwischen 2,7 und 4,1. Somit zeigt sich auch an dieser Stelle, dass eine Auslegung auf einen geringen Heizstabanteil eine wichtige Voraussetzung für effiziente Anlagen darstellt.

Zur Begrenzung des Heizstabanteils können einerseits bivalente Anlagen mit einem Brennstoffkessel eingesetzt werden, in der Felduntersuchung wurden andererseits aber auch viele unabhängige Wärmeerzeuger wie **Kaminöfen** angetroffen, mit denen bei niedrigen Außentemperaturen die Wärmepumpe unterstützt werden kann. Der Beitrag dieser von der Zentralheizung unabhängigen Öfen konnte nur auf Basis von Eigentümerangaben abgeschätzt werden, der Beitrag zum Gesamtwärmebedarf des Gebäudes lag zwischen „nicht nennenswert“ und 33 %, wobei auch hier kein Einfluss auf die JAZ abgeleitet werden kann.

In Gebäuden mit **Heizkörpertausch** zeigten sich deutliche höhere JAZ von monoenergetischen und bivalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen (2,9 ohne und 3,4 mit HK-Tausch). Weitere Einflussfaktoren wie hydraulischer Abgleich oder raumweise Heizlastberechnung konnten in den untersuchten Fällen nicht als Einflussfaktor direkt nachgewiesen werden, auch wenn diese aus grundsätzlichen Erwägungen für einen optimierten Wärmepumpenbetrieb quasi als unerlässlich anzusehen sind. Eine Wärmeübergabe mit gemischten Systemen aus Flächenheizung und Heizkörpern kann in der Regel die Vorteile der Flächenheizung nicht ausspielen, da die Wärmepumpe dennoch hohe Temperaturen für die Heizkörper bereitstellen muss. In einigen Gebäuden gelingt es aber, die Heizkörper mit der Temperatur der Fußbodenheizung zu betreiben – dort werden auch sehr hohe Arbeitszahlen erreicht. Bivalente Anlagen können hier die Effizienz bei hohen Temperaturanforderungen verbessern. Dies setzt aber eine geeignete Regelung voraus, die nicht bei allen bivalenten Anlagen beobachtet werden konnte.

Flächenheizungen sind im Gebäudebestand eher bei jüngeren Baualtern zu finden oder müssen aufwändig nachgerüstet werden. Sie zeigen in der Felduntersuchung bis auf eine Anlage sehr hohe Jahresarbeitszahlen (Bild 40).

Das Wärmeübergabesystem (Heizkörper, Flächenheizung oder gemischt) ist entscheidend für die **maximalen Vorlauftemperaturen** im Auslegungspunkt. Bei LW-WP lag diese zwischen 37 und 56 °C und es ist mit einer Abnahme der Vorlauftemperatur ein deutlicher Anstieg der Jahresarbeitszahl zu erkennen (Bild 35). Gleichzeitig wurde bei den Teilnehmern der Felduntersuchung offenbar die verbreitete Faustregel für den Maximalwert der Vorlauftemperatur bei Wärmepumpenheizung von 55 °C beachtet⁷, was vermutlich zur Erreichung der insgesamt positiven Ergebnisse bei den Jahresarbeitszahlen beigetragen hat. Bei bivalenten Wärmepumpen lagen die Vorlauftemperaturen zwischen 40 und 60 °C und bei den Erdreich-Wärmepumpen zwischen 33 und 42 °C.

Die Vorlauftemperatur zeigt sich in der Felduntersuchung insgesamt als ein wesentlicher Einflussfaktor für die Effizienz der Wärmepumpe. Da die Gebäude überwiegend in Südhessen angesiedelt sind, sind keine gravierenden Einflüsse des lokalen Wetters auf die individuellen Ergebnisse anzunehmen.

Durch den Einbau einer Wärmepumpe scheint sich bei vielen Gebäuden auch der **Gesamtwärmeverbrauch** reduziert zu haben. Gründe hierfür können sein, dass die neue Heiztechnik effizienter ist, Optimierungen bei der Wärmeverteilung durchgeführt wurden und eine bewusstere Nutzung der Heizung erfolgt. Da der Verbrauch vor Umstellung der Heizung in der Regel nur als grobe Eigentümerangabe vorlag, kann dieser Effekt aber nicht quantifiziert werden.

⁷ Andere Quellen empfehlen noch deutlich niedrigere maximale Vorlauftemperaturen, wie z. B. 45 °C in [Seifert 2019].

3.4 Kosten von Wärmepumpen im Feldtest

Im Rahmen der Ortstermine stellten einige der Teilnehmer Rechnungen bzw. Angebote der Wärmepumpenheizungen zur Auswertung zur Verfügung. So sind 40 Kostendatensätze zusammengekommen von denen 39 in die Auswertung aufgenommen wurden. Bei der ausgeschlossenen Anlage handelt es sich um ein Austauschgerät zu einem Vorzugspreis, da das vorhandene Gerät einen größeren Defekt aufwies. Die Auswertung wurde mit den Nettokosten durchgeführt und anschließend mit 19 % MwSt. beaufschlagt, so dass alle Kostenpositionen als Bruttokosten angegeben sind.

Die Rechnungen wurden soweit möglich in unterschiedliche Kostenkategorien aufgeteilt. Ziel war es mittlere Kosten für einzelne Komponenten wie z. B. Wärmepumpenaufstellung, den Heizköpertausch oder die Elektroinstallation zu ermitteln.

Die Kategorie „**Gesamtkosten**“ der Wärmepumpeninstallation enthält alle Kosten, die im Zuge des Einbaus der Heizung angefallen sind. Darin enthalten sind auch die Kosten für den Austausch, die Erneuerung oder die komplette Neuinstallation von Heizkörpern /-flächen, sowie auch von neuen Leitungen für die Heizungsverteilung und Warmwasserbereitung. Auch die Kosten für eine Erneuerung des Zählerschranks, falls ausgewiesen, sind enthalten. Es sind somit auch Kostenpositionen enthalten, die nicht zwingend der Wärmepumpeninstallation zuordenbar sind, sondern auch beim Einbau einer anderen zentralen Heizungsanlage oder Änderungen an der elektrischen Ausstattung des Gebäudes angefallen wären (sogenannten Sowieso-Kosten).

In der Kategorie „**Wärmepumpenkosten**“ sind dann nur noch die Kosten enthalten, die direkt mit der Wärmepumpe in Verbindungen stehen. Diese beinhalten die Wärmepumpe (bei bivalenten Systemen auch den zweiten Kessel), Pufferspeicher, Trinkwasserspeicher, ggf. Frischwasserstationen, alle Pumpengruppen, Heizungswasseraufbereitungsanlagen, Entsorgung von Altanlagen und Öltanks, Aufstellung der Außengeräte inkl. Außenarbeiten und Durchbrüche, Elektroarbeiten inkl. Zählerschrank (falls der Einbau hauptsächlich für die Wärmepumpe nötig war), Planung und hydraulischer Abgleich. Damit entsprechen diese Kostenpositionen in etwa der Kostendefinition wie sie in [Hinz 2015] für die Anlagentechnik beschrieben ist. Die vorliegenden Rechnungen umfassten von einer Seite mit der Summe der Gesamtkosten bis zu umfangreichen Einzelaufstellungen aller Komponenten inkl. Einzelpreisen jeden Detaillierungsgrad.

Die Kosten von Erdsonden und Erdbohrungen für Erdreich- bzw. Grundwasser-Wärmepumpen sind nicht in den Kosten enthalten. Die meisten der Erdreich-Wärmepumpen waren Austauschgeräte und die Bohrungen bzw. Sonden waren schon vorhanden und konnten weiter genutzt werden.

In Tabelle 6 sind die Baujahre der Wärmepumpen, die an der Kostenauswertung teilgenommen haben, aufgelistet. Die meisten Wärmepumpen wurden 2022 gefolgt von 2023 fertig gestellt.

Tabelle 6: Baujahre der an der Kostenauswertung teilnehmenden Wärmepumpen

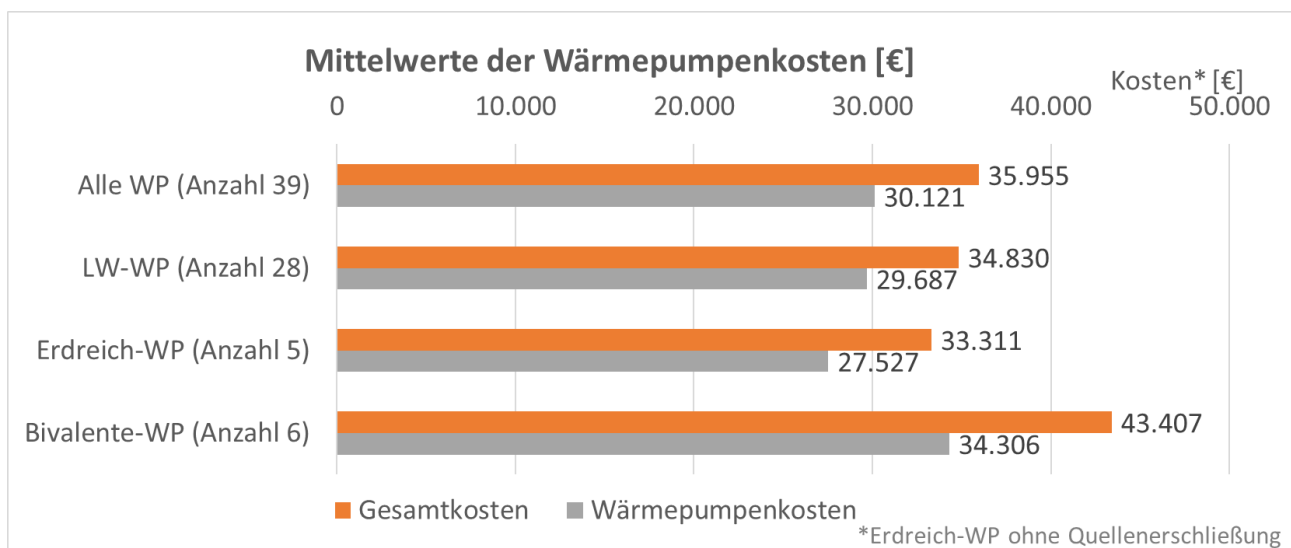
Baujahr Wärmepumpe	Anzahl Datensätze
2017	1
2018	1
2019	1
2020	6
2021	4
2022	17
2023	9

Die teilweise großen Unterschiede bei den Wärmepumpenkosten liegen vielfach in den Unterschiedlichen Ausführungen der Anlagen begründet. Eine eindeutige Zuordnung von einzelnen Kostenpositionen und

Lohnkosten zu z. B. der Warmwasserbereitung oder Heizungsverteilung, war nur in wenigen Fällen möglich, daher variiert auch der in den Rechnungen enthaltene Arbeits- und Materialaufwand stark. Eine exaktere Differenzierung der Kosten war daher nicht möglich und die Detailauswertungen sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet, was bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden muss.

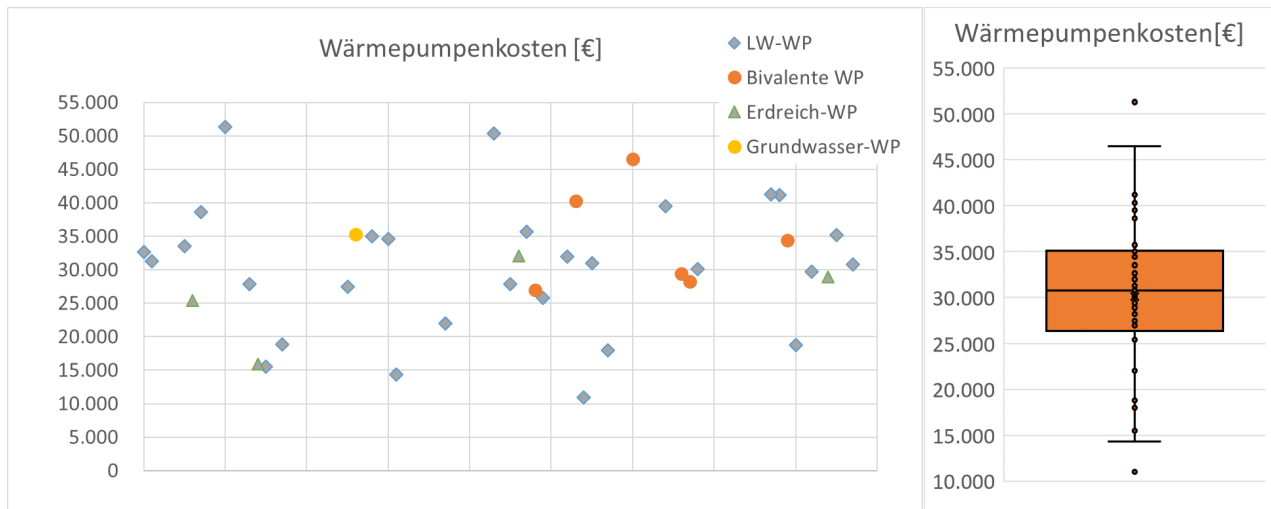
In Bild 46 sind die Ergebnisse als mittlere Kosten der Wärmepumpensysteme dargestellt. Die mittleren *Gesamtkosten* über alle Anlagen liegen bei rund 35.960 € und die mittleren *Wärmepumpenkosten* etwa 5.800 € niedriger bei rund 30.120 €. Die Fallzahlen sind jedoch bei den Erdreich-Wärmepumpen und den bivalenten Wärmepumpen zu gering für eine vergleichende Auswertung. Bei den Erdreich-Wärmepumpen ist eine Grundwasser-Wärmepumpe enthalten. Die Kosten der Bohrungen sind wie oben erläutert nicht enthalten. Die bivalenten Wärmepumpen enthalten in fünf Fällen einen Gas-Brennwertkessel und in einem Fall einen Pelletkessel.

Bild 46: Mittelwerte der Wärmepumpenkosten



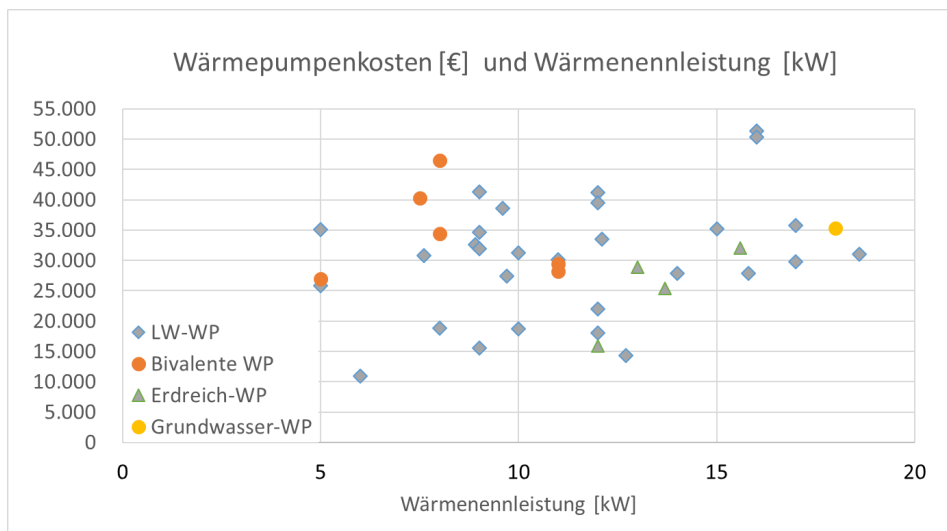
In Bild 47 sind alle Kostendatensätze im Vergleich dargestellt. Gut ist die Verteilung um die mittleren Anlagenkosten zu erkennen, nur wenige Datensätze weichen stärker ab. Auch die Darstellung im Boxplot zeigt vergleichsweise geringe Abweichungen.

Bild 47: Übersicht der Wärmepumpenkosten



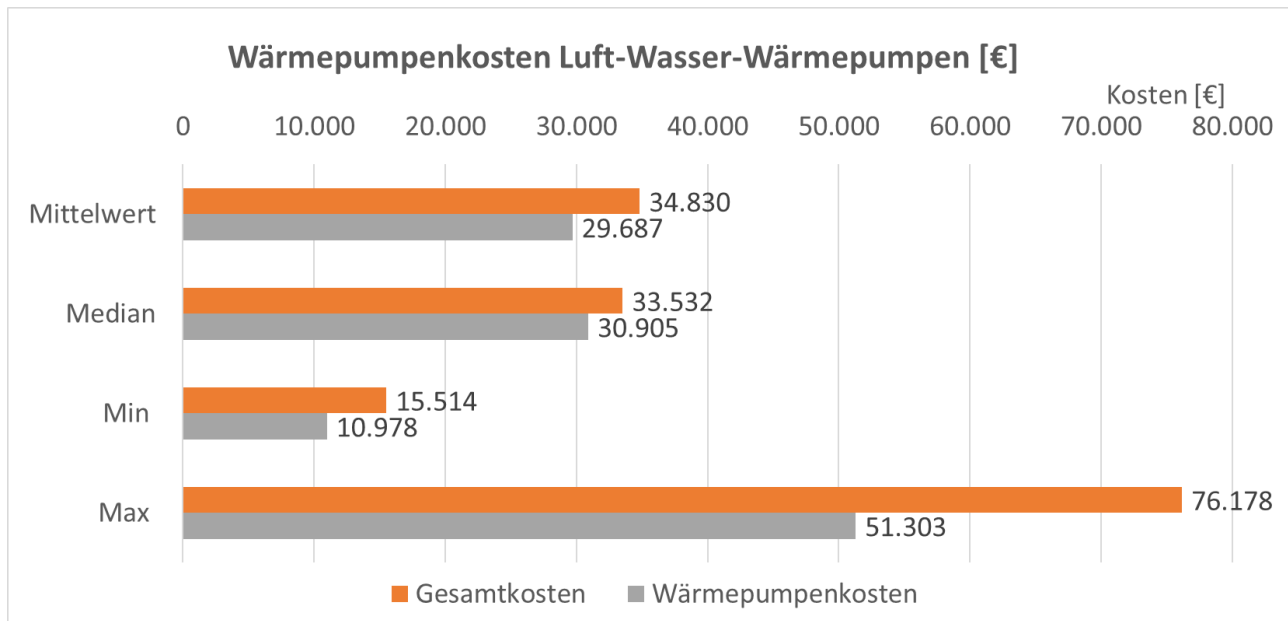
Trägt man die die Wärmepumpenkosten über die Wärmenennleistung der Wärmepumpen auf (Bild 48), sieht man auf den ersten Blick nur einen geringen Einfluss der Leistung auf die Kosten. Dieser Aspekt wird aber im Folgenden noch näher untersucht. Die bivalenten Anlagen beinhalten immer auch einen 2. Wärmeerzeuger, daher ist bei diesen Anlagen die Leistung der Wärmepumpen etwas geringer.

Bild 48: Wärmepumpenkosten über der Wärmenennleistung aufgetragen



Eine genauere Betrachtung erlauben die 28 Datensätze, die von den Luft-Wasser-Wärmepumpen vorliegen (Bild 49). Der Mittelwert der Gesamtkosten liegt hier mit 34.830 € etwa 5.100 € über den der Wärmepumpen mit 29.687 €.

Die Kosten sind stärker vom Umfang der ausgetauschten / eingebauten Komponenten und den Umfeldarbeiten abhängig als von den Kosten der Wärmepumpengeräte selbst.

Bild 49: Wärmepumpenkosten der Luft-Wasser-Wärmepumpen (20 Datensätze)**Ausreißer Betrachtung**

Bei der Anlage mit den geringeren Gesamtkosten (Bj. 2022) wurde außer der Wärmepumpe nur ein 200 l Pufferspeicher eingebaut. Zur Warmwasserbereitung wird die vorhandene Technik verwendet, die Monoblock Wärmepumpe wurde in das vorhandene Heizungssystem (Gas BW) eingebunden. Heizkörper wurden nicht getauscht und auch kein neuer hydraulischer Abgleich durchgeführt.

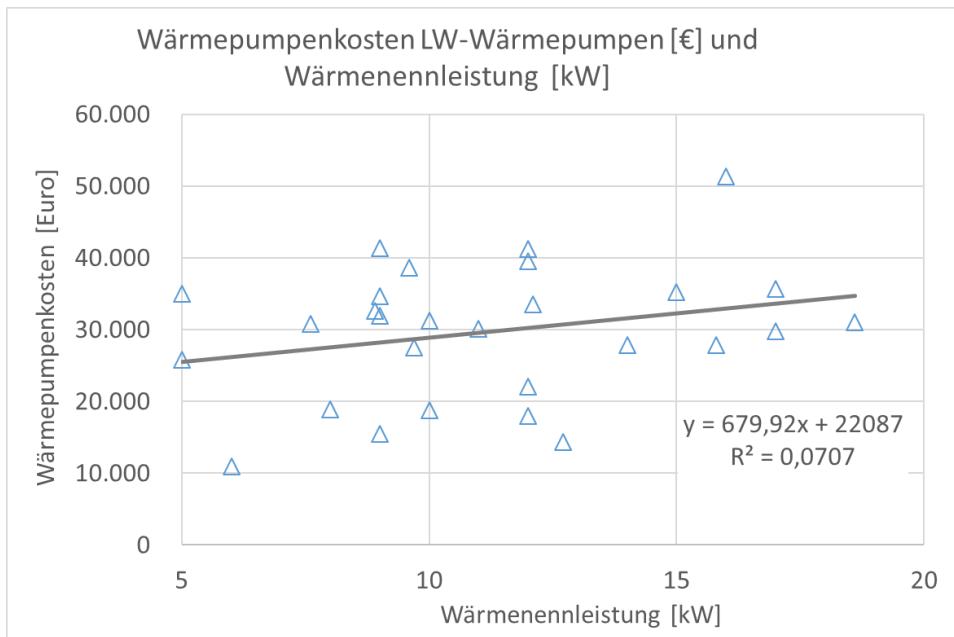
Die preiswerteste Wärmepumpe wurde 2018 eingebaut – die Kosten beinhalten die Split Wärmepumpe inkl. 300 l Warmwasserspeicher und einen Pufferspeicher.

Die Anlage mit den höchsten Gesamtkosten beinhaltet eine Wärmepumpe mit 17 kW Wärmenennleistung (Bj. 2022), 200 l Puffer und 200 l WW Speicher inkl. einer kompletten neuen Ausstattung mit Heizkörpern in einem EFH mit Einliegerwohnung und einer neuen zentralen Warmwasserversorgung.

Die teuerste Wärmepumpenanlage ist eine Kaskade von zwei Monoblock WP à 8 kW mit 200 l Pufferspeicher für die Heizung und einem weiteren 800 l Speicher mit einer separaten Frischwasserstation.

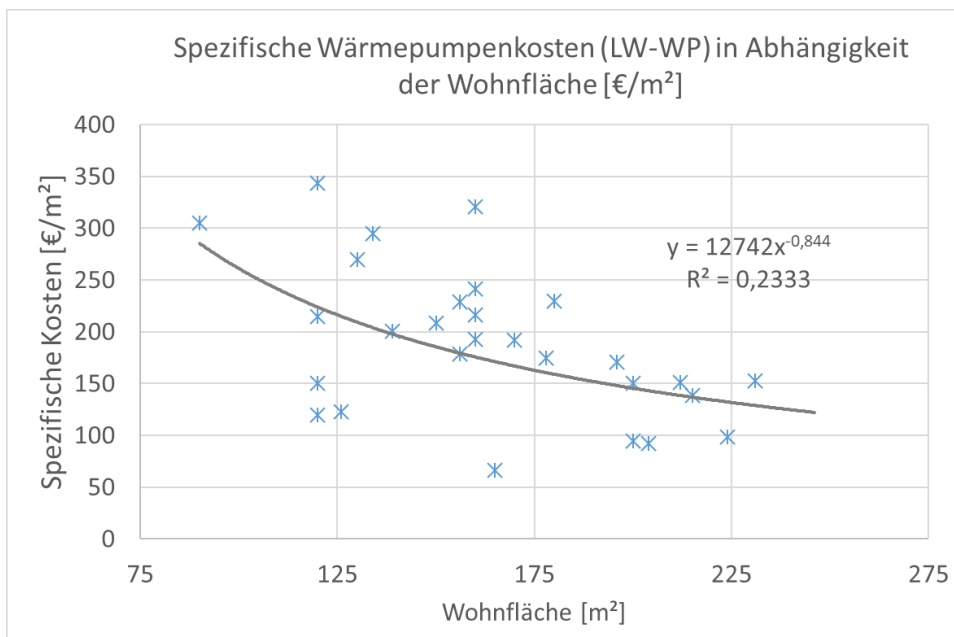
In Bild 50 sind die Wärmepumpenkosten über der Wärmenennleistung der Luft-Wasser-Wärmepumpen aufgetragen. Auffällig sind die Teils hohen Kosten auch von Wärmepumpen mit Leistungen unter 10 kW und dem geringen Einfluss der Anlagenleistung auf die Kosten. Auch die lineare Kostenfunktion weist mit 22.087 € einen hohen Anteil an Fixkosten aus, der leistungsabhängige Anteil hat mit rund 680 €/kW nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtkosten. Hier handelt es sich allerdings noch um eine Auswertung der Originalkosten, die das Einbaujahr und den Ort des Einbaus noch nicht berücksichtigt. Diese Korrekturen werden später durchgeführt, siehe Tabelle 9 sowie Bild 56 und Bild 57. Für Kostenanalysen sind erst diese korrigierten Daten als maßgeblich zu betrachten. Generell ist die Datengrundlage mit 28 Datensätzen gering und der Einfluss von einzelnen unterschiedlichen Kostenkategorien noch recht groß.

Bild 50: Wärmepumpenkosten der LW-WP über der Wärmenennleistung mit Kostenfunktion (noch ohne Korrektur von Baujahr und Installationsort)



In Bild 51 ist als Alternative zur linearen Kostenfunktion in Abhängigkeit der Anlagenleistung die Funktion der spezifischen Wärmepumpenkosten in Abhängigkeit der Wohnfläche dargestellt. Trotz der starken Streuung der Datenpunkte zeigt die Funktion einen Verlauf ähnlich der Kostenfunktionen wie sie für andere Wärmeversorgungsanlagen in [Hinz 2015] ermittelte wurden. In der Tendenz nehmen die spez. Kosten mit steigender Wohnfläche bei den Teilnehmenden EZFH ab.

Bild 51: Spezifische Wärmepumpenkosten in Bezug zur Wohnfläche mit Kostenfunktion



Die Auswertung der weiteren Kostenkategorien ist Tabelle 7 zu entnehmen, die Streuungen der Kosten sind in Bild 53 dargestellt. Wichtig bei der Betrachtung der Auswertung ist die verfügbare Anzahl an Datensätzen, die stark variiert und bei einer geringen Anzahl verfügbarer Datensätzen die Aussagekraft einschränkt.

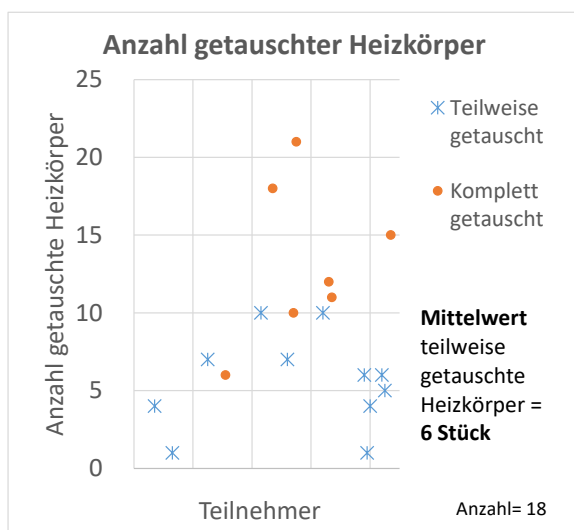
Tabelle 7: Übersicht weiterer Kostenkategorien bei der Wärmepumpeninstallation

Kostenkategorien	Anzahl Datensätze	Min [€]	Mittelwert [€]	Median [€]	Max [€]
Arbeitslohn Montage Wärmepumpe [€]	19	1.500	4.866	4.950	7.931
Kosten Heizkörpertausch (pro Stück) [€]	17	477	979	822	2.134
Kosten Warmwasserbereitung [€]	8	1.459	3.726	2.720	7.536
Kosten Hydraulischer Abgleich [€]	19	223	951	790	2.211
Kosten Geräteaufstellung [€]	11	371	1.638	1.531	2.698
Kosten Elektroinstallation [€]	14	381	1.993	1.919	4.656
Kosten Altanlagenentsorgung [€]	20	395	1.135	1.026	2.749

Aus 19 Rechnungen konnten die Montagekosten (Lohnkosten) für die Wärmepumpenanlage entnommen werden. Häufig werden die Montagekosten in den Materialkosten eingepreist, so dass diese nicht zu ermitteln sind. Bei allen bis auf einer Anlage wurde die Montagekosten als Pauschale abgerechnet, so dass mittlere Stundensätze nicht zu ermitteln waren. Die mittleren Montagekosten liegen bei 5.430 €, die Inbetriebnahmekosten sind, soweit gesondert aufgeführt, in den Montagekosten enthalten. Setzt man einen angenommen mittleren Stundensatz von 60 € inkl. MwSt. für Monteur und Helfer an, ergibt sich daraus ein mittlerer Montageaufwand von rund 90 Stunden, was grob einer Woche (5,6 Arbeitstagen) mit zwei Personen entspricht.

Bei 18 Rechnungen konnten Kosten für einen Heizkörpertausch bzw. deren Neuinstallation entnommen werden. Auf den einzelnen Heizkörper heruntergebrochen ergeben sich mittlere Kosten von 979 € pro Heizkörper. Dieser Wert wird, wie in Bild 53 zu sehen, von zwei Ausreißern verzerrt. Ohne diese liegt der Mittelwert bei 840 € pro Heizkörper und somit näher beim Median der Gesamtauswertung. Die Kosten beinhalten Material sowie Lohnkosten, Abweichungen nach oben können entstehen, wenn unübliche Heizkörperformate verwendet werden oder die Anbindung von neuen Heizkörpern eine aufwändige Verrohrung nötig macht.

Betrachtet man die Anzahl der getauschten Heizkörper pro Gebäude (Bild 52), ergibt sich ein Mittelwert von sechs getauschten Heizkörpern pro Gebäude, unter der Voraussetzung, dass nur einzelne und nicht alle Heizkörper getauscht wurden. In den Fällen bei denen alle Heizkörper getauscht wurden, kann vermutet werden, dass dies nicht nötig war um die Heizleistung bei niedriger Vorlauftemperatur zu übertragen, sondern der komplette Tausch ästhetische oder andere technische Gründe hatte. Eine Differenzierung nach Art der Heizkörper konnte nur in Einzelfällen durchgeführt werden und ist aus diesem Grund hier nicht dokumentiert.

Bild 52: Anzahl der getauschten Heizkörper (aus Kostenauswertung)

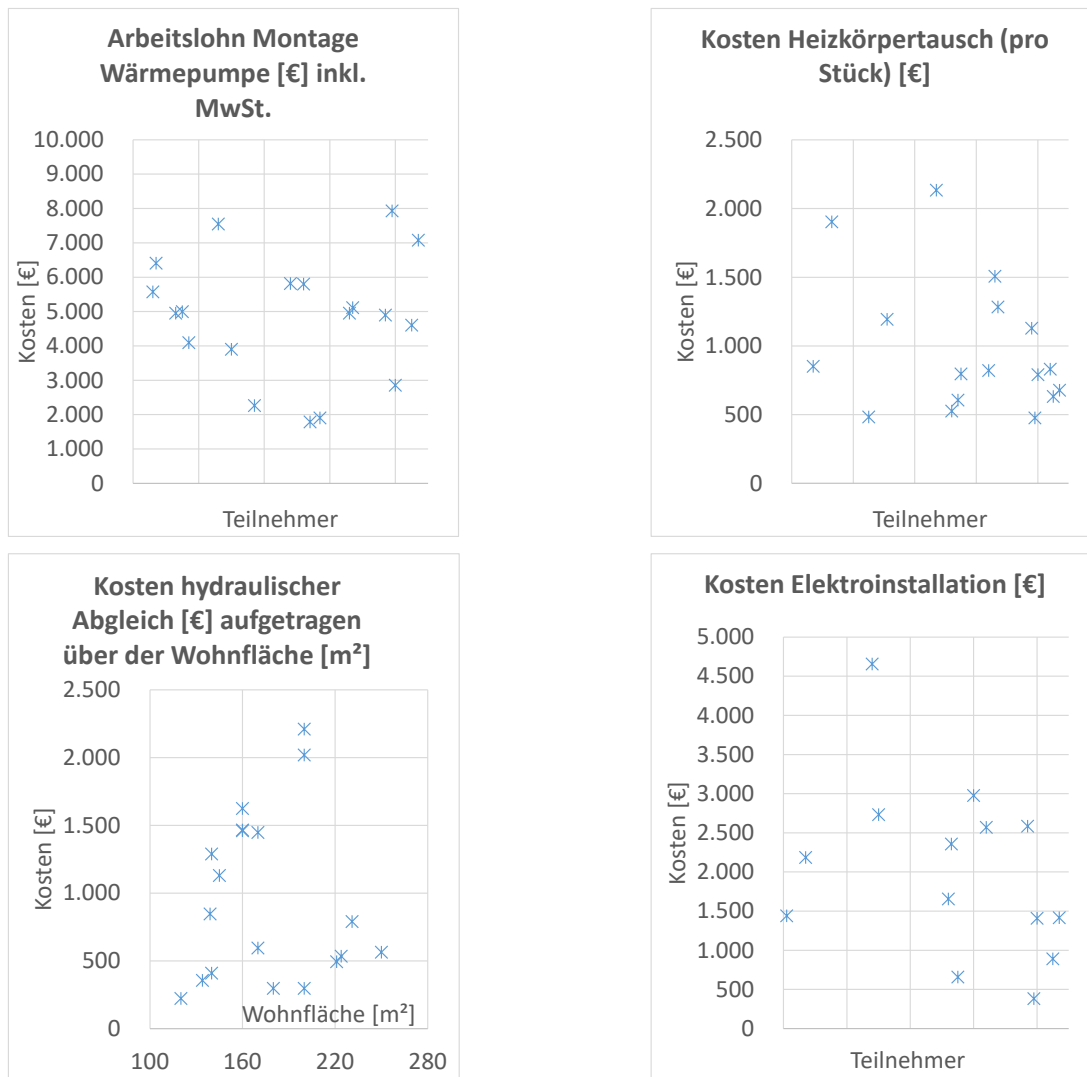
Die Kosten für die Warmwasserbereitung sind wenig aussagekräftig, da diese nur bei 8 Rechnungen getrennt auswertbar waren und auch hier die Problematik besteht, dass Kosten nicht klar begrenzbar sind. So sind z. B. Montagkosten und Kosten für Kleinteile und Verbindungsmaterialien oft nicht eindeutig zuordenbar. Dies spiegelt sich auch im großen Unterschied zwischen Mittelwert und Median sowie der großen Spannen zwischen Minimal- und Maximalwert wieder.

Die Kosten für den hydraulischen Abgleich liegen im Mittel bei 951 €, hier liegen Mittelwert und Median etwa 160 € auseinander, der Maximalwert liegt mit 2.211 € deutlich über dem Mittelwert. Der Minimalwert ist ein Pauschalwert, der womöglich nicht die Kosten eines hydraulischen Abgleichs mit raumweiser Berechnung der Wärmebedarfe abdeckt, jedoch geht aus den Rechnungen nicht hervor, ob die Berechnung ggf. extern erfolgte. Ebenso wenig konnten Einzelposten für den hydraulischen Abgleich differenziert werden.

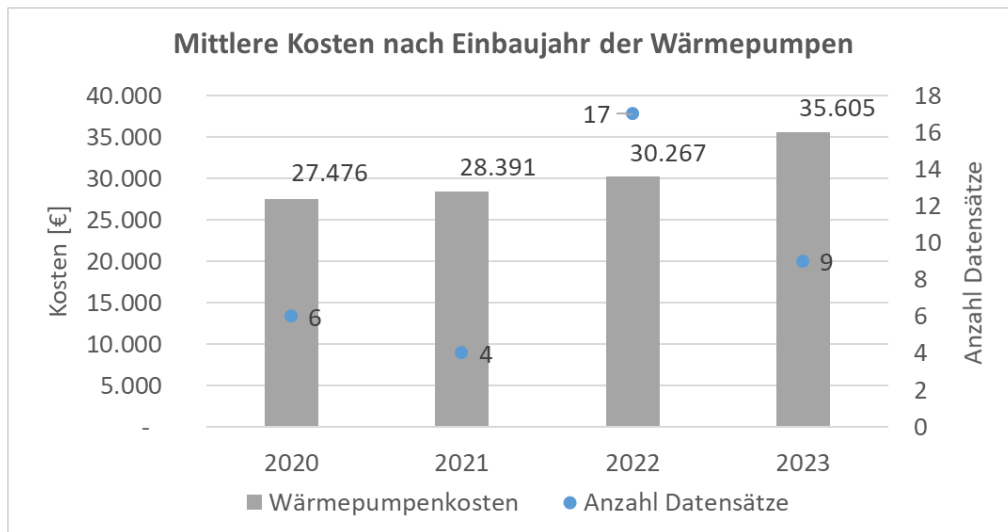
Die Kosten für die Elektroninstallation liegen im Mittel bei rund 2.000 € (14 auswertbare Datensätze). Dieser Wert wird von einem Kostendatensatz von über 4.600 € leicht verzerrt. Der Maximalwert von 4.656 € wurde durch einen aufwendigen Umbau des Hausanschlusses verursacht, da gleichzeitig noch eine PV-Anlage installiert wurde.

Eine weitere auswertbare Kostenposition sind die Kosten für die Aufstellung der Luft-Wasser-Wärmepumpe im Außenbereich. Die ausgewiesenen Kosten enthalten sowohl Monoblock als auch Split-Wärmepumpen. Oft sind die Aufstellkosten in den Installationspauschalen mit enthalten, nur in 11 Fällen waren die Kosten getrennt ausgewiesen. Die mittleren Kosten lagen bei diesen Anlagen bei rund 1.600 € in einem Kostenrahmen von 371 bis 2.698 €.

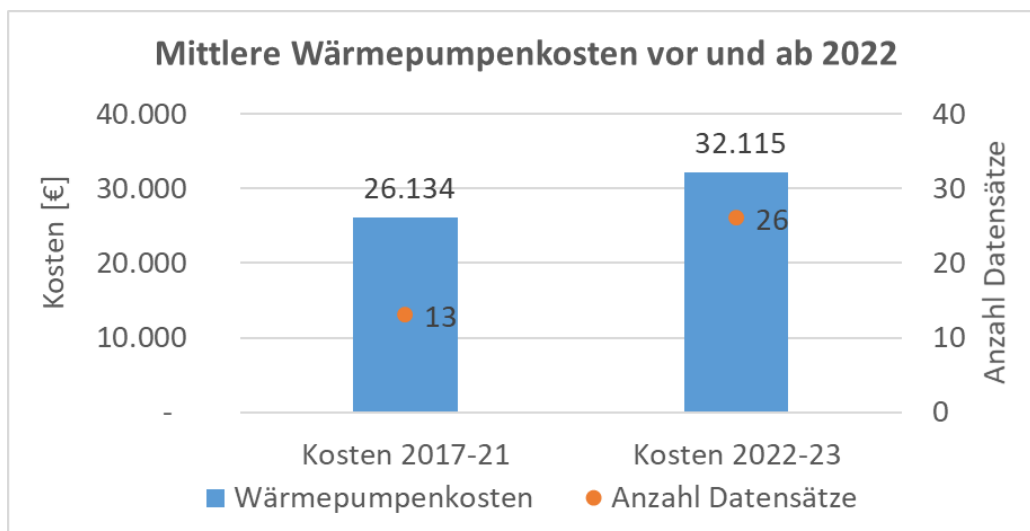
Die Kosten für die Demontage und Entsorgung der Altanlage ggf. inklusive Öltank lag zwischen 395 € und 2.749 € und im Mittel bei 1.135 €. Hierzu lagen 20 Datensätze vor. Die höheren Kosten sind i.d.R. für die fachgerechte Entsorgung von Öltanks angefallen.

Bild 53: Darstellung der Einzelkosten**Kostenentwicklung im Zeitverlauf**

In Bild 54 sind die Wärmepumpenkosten als Mittelwerte über die Einbaujahre aufgetragen. Von den Jahren 2017 bis 2019 ist jeweils nur ein Datensatz vorhanden und daher wurden diese nicht mit abgebildet. Aus den Daten ist ein Anstieg der mittleren Wärmepumpenkosten von 2020 auf 2021 von etwa 1.000 €, von 2021 auf 2022 von etwa 1.800 € und von 2022 auf 2023 von etwa 5.300 € zu entnehmen. Aufgrund der geringen Fallzahl sind diese Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Da es sich bei den Einbaujahren in der Regel um das Jahre der Endrechnung bzw. Inbetriebnahme handelt kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der in 2022 in Betrieb genommenen Anlagen auf Angeboten von Ende 2021 oder Anfang 2022 beruhen. Die extreme starke Nachfrage nach Wärmepumpen bildete sich besonders ab Mitte 2022 aus, was zu Verzögerungen bei Lieferung sowie Installation führte. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der 2022 beauftragten Anlagen erst 2023 in Betrieb ging.

Bild 54: Mittlere Kosten nach Einbaujahr der Wärmepumpen

Werden die Daten stärker zusammengefasst und betrachtet man die Wärmepumpenkosten vor der Energiekrise und dem Angriff auf die Ukraine Anfang 2022 und ab 2022, so sieht man einen Kostensprung von rund 6.000 €. Aber auch hier sind die Fallzahlen noch niedrig. Eine Kostensteigerung ist klar erkennbar, für eine valide Aussage zur Höhe, ist jedoch die Datengrundlage zu gering. Bild 55 zeigt die mittleren Anlagenkosten nach Installationsjahren (bis 2021 bzw. ab 2022). Wegen der begrenzten Fallzahlen wurde hier allerdings auf eine weitergehende Untersuchung verzichtet.

Bild 55: Mittlere Wärmepumpenkosten vor und ab 2022

Auch die Aufschlüsselung in Tabelle 8 kann daher nur einen groben Eindruck von der Kostenentwicklung in den einzelnen Kategorien vermitteln. Die auswertbaren Fallzahlen sind hier generell sehr gering, in einigen Fällen so gering, dass die Ergebnisse hier „ausgegraut“ dargestellt sind.

Tabelle 8: Mittlere Kosten der weiteren Kostenkategorien nach Baujahr vor und ab 2022

Kostenkategorien	Datensätze 2017-2021 (Anzahl)	Datensätze 2022-2023 (Anzahl)	Kosten 2017-2021 [€]	Kosten 2022-2023 [€]
Arbeitslohn Montage Wärmepumpe [€]	6	13	4.631	4.974
Kosten Heizköpertausch (pro Stück) [€]	7	10	1.050	930
Kosten Warmwasserbereitung [€]	2	6	3.448	3.818
Kosten Hydraulischer Abgleich [€]	5	14	743	1.025
Kosten Geräteaufstellung [€]	2	9	1.913	1.576
Kosten Elektroinstallation [€]	3	11	995	2.265
Kosten Altanlagenentsorgung [€]	5	15	1.165	1.125
Mittlere Nennleistung [kW]	13	26	13 kW	11 kW

Normierung der Kostendaten auf den Preisstand 2023

Um die Kostendaten besser vergleichbar zu machen, wurden sie über einen Preisindex auf ein einheitlichen Bezugsjahr umrechnen. Als Preisindex wurde ein Datensatz von Statistischen Bundesamt [Destatis 2025] für die Instandhaltung von Wohngebäuden für Heiz- und zentrale Warmwassererwärmungsanlagen verwendet. In Tabelle 9 sind die Preisindizes und die daraus ermittelten Umrechnungsfaktoren abgebildet.

Tabelle 9: Umrechnungsfaktoren für Kosten von Heizungsanlagen auf das Preisniveau 2023

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Preisindex Heiz- und zentrale Wassererwärmungsanlagen	106,3	110,4	114,8	117,4	127,6	150,4	171,1
Umrechnung auf Preisniveau 2023	1,61	1,55	1,49	1,46	1,34	1,14	1

Baupreisindizes: Deutschland, Jahre, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer,

Instandhaltung von Wohngebäuden, Bauarbeiten (Instandhaltung)

Preisindizes für die Bauwirtschaft Deutschland

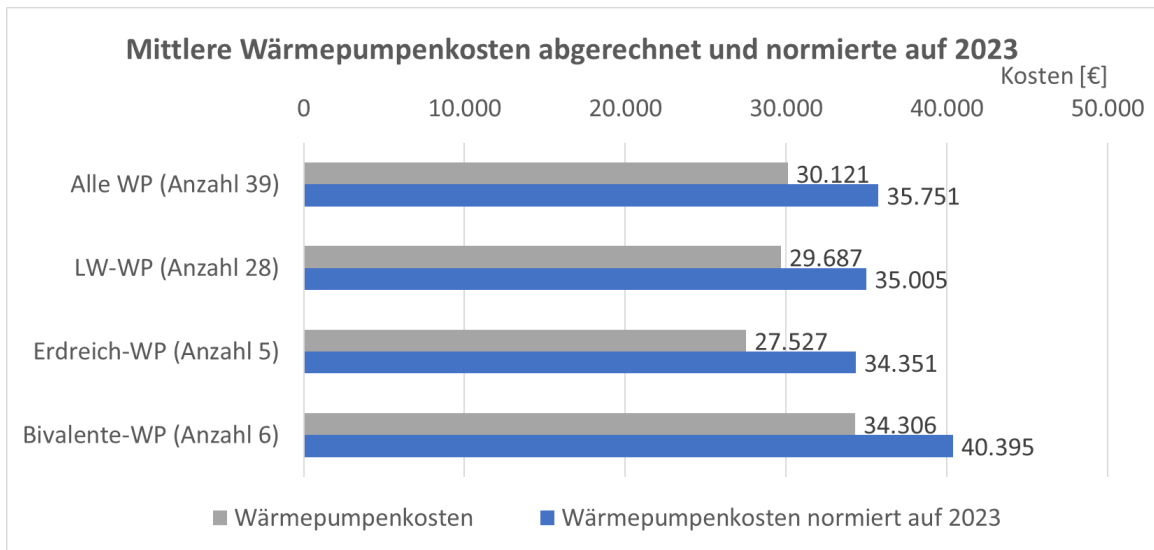
Baupreisindizes (2015=100)

© Statistisches Bundesamt (Destatis), 2024 | Stand: 10.06.2024 / 17:35:58

Instandhaltung von Wohngebäuden Bauarbeiten (Instandhaltung)

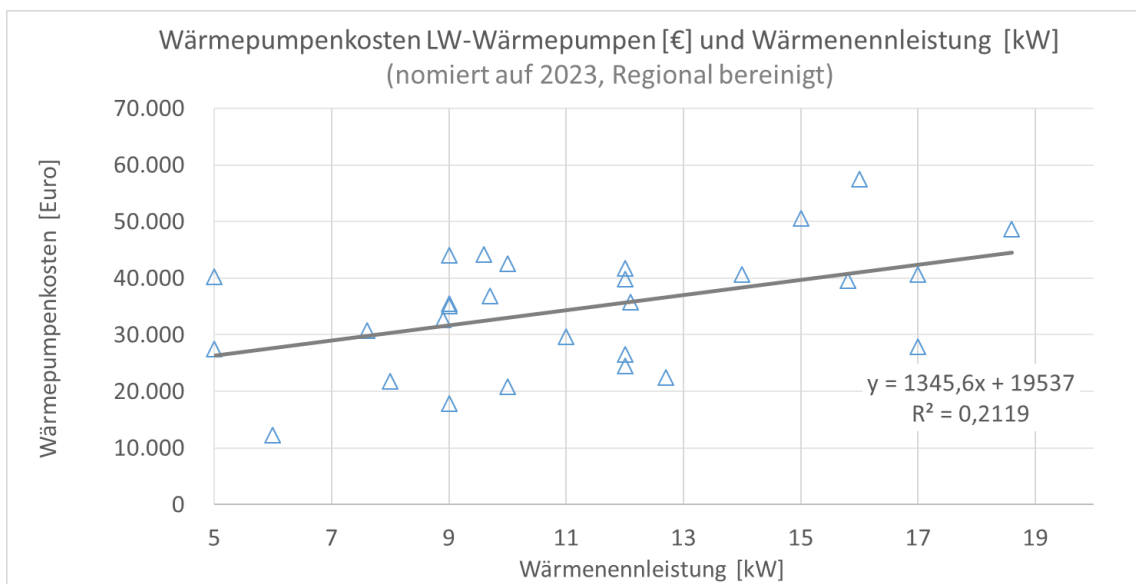
In Bild 56 sind die mittleren Wärmepumpenkosten wie abgerechnet und die auf 2023 hochgerechneten Kosten zusammen dargestellt. Über alle betrachtet Anlagen steigen die mittleren Wärmepumpenkosten von rund 30.100 € um etwa 5.600 € auf 35.750 €. Damit liegen die auf 2023 hochgerechneten Kosten fast exakt bei den mittleren Wärmepumpenkosten von 35.600 € der neun in 2023 abgerechneten Anlagen.

Nach Art der Wärmepumpe differenziert ergeben sich für den Preisstand 2023 für Luft-Wasser-Wärmepumpen etwa 35.000 €, für Erdreich-Wärmepumpen (ohne Quellenerschließung) etwa 34.400 € und für bivalente Wärmepumpen mit zweitem Kessel etwa 40.400 € an Wärmepumpenkosten.

Bild 56: Mittlere Wärmepumpenkosten abgerechnet und auf 2023 normiert

Trägt man wie in Bild 48 die Wärmepumpenkosten über der Nennleistung auf und verwendet die auf 2023 normierten und mit Regionalfaktoren auf ein mittleres Preisniveau für Deutschland [BKI 2023] bereinigten Kosten (nach Landkreisen differenziert zwischen 0,984 und 1,067), erhält man die in Bild 57 dargestellte Kostenfunktion. Daraus lässt sich ein Grundpreis von rund 19.500 € mit einem Aufschlag von rund 1.350 € pro kW Wärmenennleistung entnehmen.

Somit folgt, dass die mittleren WP Kosten einer LW-Wärmepumpe von rund 35.000 € für eine 11 kW-Anlage zu veranschlagen wären. Aus der starken Streuung der Kostenpunkte und dem recht geringen Bestimmtheitsmaß von nur 0,2119 zeigt sich, dass eine hohe Varianz bei den Kosten der betrachteten WP-System vorliegt.

Bild 57: Wärmepumpenkosten LW-Wärmepumpen aufgetragen über der Wärmenennleistung (Kosten auf Preisstand 2023 normiert [Destatis 2025] und mit Regionalfaktoren bereinigt [BKI 2023])

Die unterschiedlich hohen Kosten bei Wärmepumpen-Systemen gleicher Leistungsklasse liegen vielfach in unterschiedlichen Ausführungsvarianten begründet. Installationen mit geringen Kosten bestehen im Projekt häufig aus weniger Komponenten als teure Systeme bzw. teilweise sind kostenintensive Arbeiten nicht angefallen. Musste im Projekt z. B. keine Ölheizung inkl. Öltank entsorgt werden, konnten Kosten bis zu 2.354 €

entfallen. Ist eine einfache Geräteaufstellung z. B. mit Wandhalter möglich, konnten bis zu 2.326 € eingespart werden. Ist eine aufwändige Elektroinstallation mit neuem Zählerschrank nötig, können gegenüber einer einfachen Installation mit kurzen Wegen 4.275 € Mehrkosten nötig werden. Auch die Anzahl der Heizkreise und der benötigten Pumpengruppen macht einen Unterschied bei den Wärmepumpenkosten. Einfache Systeme mit einem Heizkreis und ohne bzw. ohne neue Zirkulationspumpe tragen zur Kostenreduzierung bei.

3.5 Auswertung der Eigentümerbefragung zu Beginn der Feldphase

Bei den Ortsterminen zur Aufnahme der Anlagentechnik und zur Identifizierung auswertbarer Zähler wurde eine erste Befragung der möglichen Teilnehmer vorgenommen. In diese Auswertung gehen alle Befragten mit ein, d. h. auch diejenigen, die an der eigentlichen Feldstudie nicht teilnehmen konnten oder wollten. Nicht alle Fragen wurden von allen Befragten beantwortet, daher schwankt die Summe der Antworten zu den einzelnen Fragen. Um den Unterschied zu den Teilnehmenden der Feldphase zu verdeutlichen, ist bei jeder Frage die Anzahl der ausgewerteten Antworten aufgeführt und zudem wird von Befragten und nicht von Teilnehmenden gesprochen.

Zum Projektende wurde eine zweite Befragung durchgeführt. Bei dieser Befragung ging es hauptsächlich um die Zufriedenheit der Teilnehmer mit der neuen Heizungstechnik. Die Ergebnisse sind in Kapitel 3.6 dokumentiert. Die Fragen zu den beiden Befragungen sind in Anhang G zu finden.

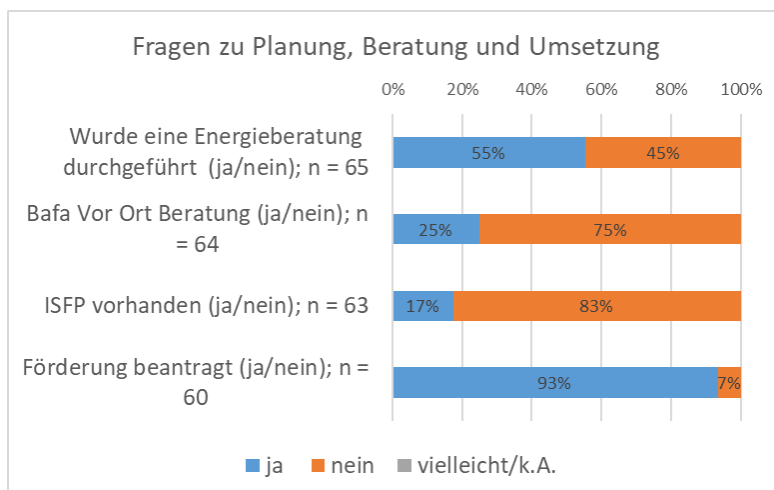
3.5.1 Planung, Beratung und Umsetzung

Beratung und Förderung

Bei 55 % der Befragten wurde vor dem Einbau der Wärmepumpe eine Energieberatung für das Gebäude durchgeführt (Bild 58). Auch die Nennung von beratenden Handwerkern, Beratung durch die Verbraucherzentrale oder Teilnahme an der hessischen Energiesparaktion u. ä. wurde als Energieberatung gewertet. 25 % haben eine umfassende geförderte Bafa Vor-Ort-Beratung durchführen lassen. Lediglich 17 % der Befragten haben für Ihr Gebäude einen individuellen Sanierungsfahrplan anfertigen lassen.

Eine Förderung haben fast alle Teilnehmer in Anspruch genommen, lediglich vier haben keine Förderung verwendet. Als Gründe wurde einmal „zu aufwändig“ angegeben und einmal wurde die Förderung abgelehnt. Die Gründe für die Ablehnung wurden nicht genauer recherchiert.

Bild 58: Teilnehmerbefragung „Fragen zu Planung, Beratung und Umsetzung“ Teil 1



Planung und Umsetzung

Bei 62 % der Befragten wurde eine Heizlastberechnung durchgeführt, bei 31 % definitiv nicht und 8 % waren sich nicht sicher (Bild 59).

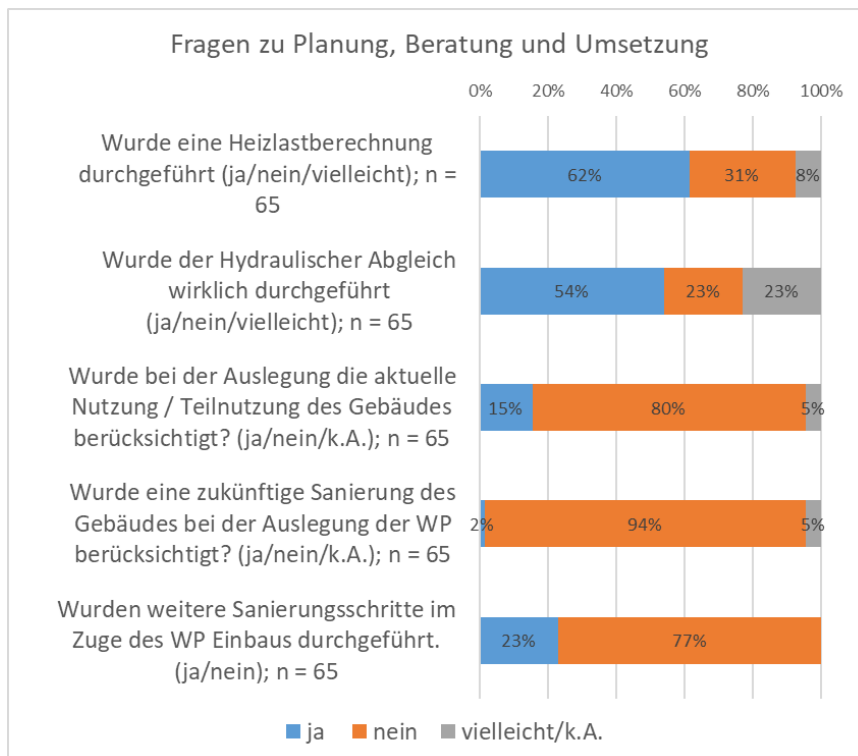
Auf die Fragen, ob ein hydraulischer Abgleich auch sicher durchgeführt wurde, antworteten nur 54 % mit ja, 23 % waren sich sicher, dass kein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde und 23 % waren sich unsicher ob der Abgleich wirklich durchgeführt wurde.

Die aktuelle Nutzung bzw. Teilnutzung des Gebäudes, sowie die vorhandenen dezentralen Öfen wurden nur bei 15 % der Befragten bei der Auslegung der Anlage mitberücksichtigt. Bei 80 % wurde dies nicht berücksichtigt und 5 % haben dazu keine Angabe gemacht.

Bei der Frage ob zukünftige Sanierungsschritte bei der Anlagenauslegung eine Rolle gespielt haben, fallen die Antworten ähnlich wie bei der vorherigen Frage aus: nur bei 2 % wurden geplante Sanierungsschritte berücksichtigt, bei 94 % nicht und 5 % machten keine Angaben.

77 % der Befragten haben keine weiteren Sanierungsschritte / Maßnahmen im Zuge des Wärmepumpeneinbaus durchgeführt, lediglich 23 % haben zeitnah weitere Sanierungen am Gebäude durchgeführt.

Bild 59: Teilnehmerbefragung „Fragen zu Planung, Beratung und Umsetzung“ Teil 2



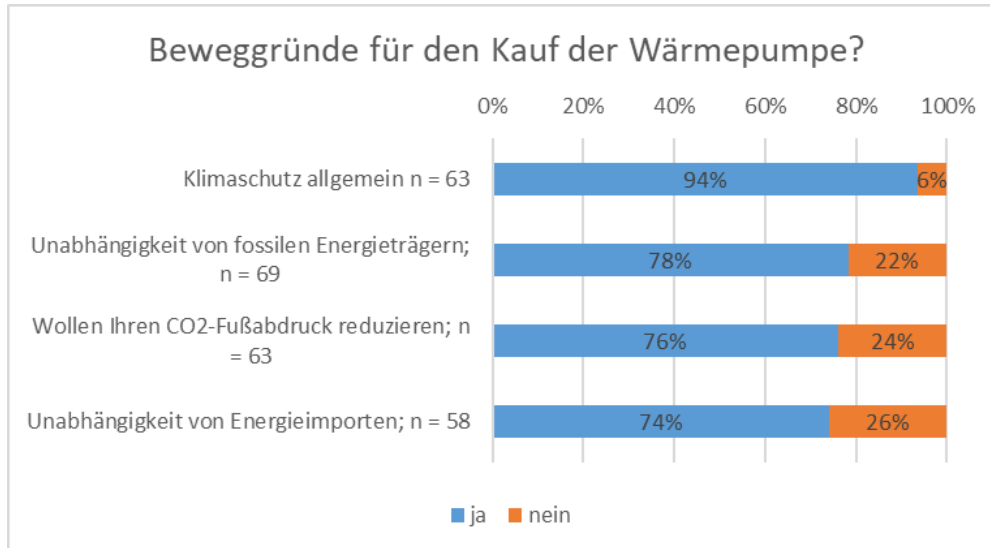
3.5.2 Beweggründe für den Kauf der Wärmepumpe

Mit diesen Fragen sollte die Motivation zum Umstieg auf eine Wärmepumpenheizung ergründet werden. Der erste Teil des Themenkomplexes beschreibt die Antworten zu vorformulierten Fragen und im zweiten Teil folgt die Auswertung der individuell genannten Beweggründe, die nach den genannten Stichworten gruppiert wurden. Hier war eine Mehrfachnennung möglich.

Umweltaspekte

Für den Kauf einer Wärmepumpenheizung mit entscheidend waren bei 94 % der Befragten allgemeine Klimaschutzaspekte, nur für 6 % nicht (Bild 60). Zudem wollten 78 % eine Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern und 74 % auch eine stärkere Unabhängigkeit von Energieimporten erreichen. Ihren persönlichen CO₂-Fußabdruck zu verringern war für 76 % einer der Beweggründe für ihre Entscheidung zum Umstieg auf eine Wärmepumpe.

Bild 60 Teilnehmerbefragung Beweggründe für den Kauf einer Wärmepumpe: Umweltaspekte

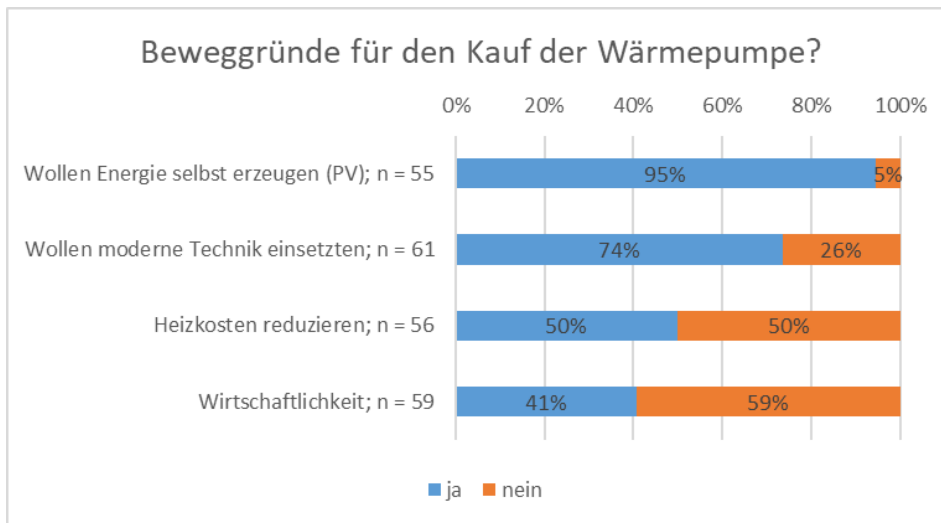


Eigenversorgung, Technik und Kosten

Das Bestreben sich unabhängiger von Energieimporten zu machen, spiegelt sich auch darin wieder, dass es für 95 % ein Beweggrund für eine Wärmepumpe war, dass es mit ihr möglich ist mit einer PV-Anlage einen Teil seiner benötigten Energie selbst zu erzeugen. Außerdem gaben 74 % der Befragten an, in eine Anlage mit „moderner Technik“ investieren zu wollen (Bild 61).

Die Heizkosten zu reduzieren, war für 50 % mit ein Grund für den Einbau einer Wärmepumpe. Die Erwartung, dass die Wärmepumpe insgesamt wirtschaftlicher als eine andere Heizungsanlage ist, hatten nur 41 % der Befragten.

Bild 61: Teilnehmerbefragung Beweggründe für den Kauf einer Wärmepumpe: Eigenversorgung, Technik und Kosten



Persönliche Beweggründe

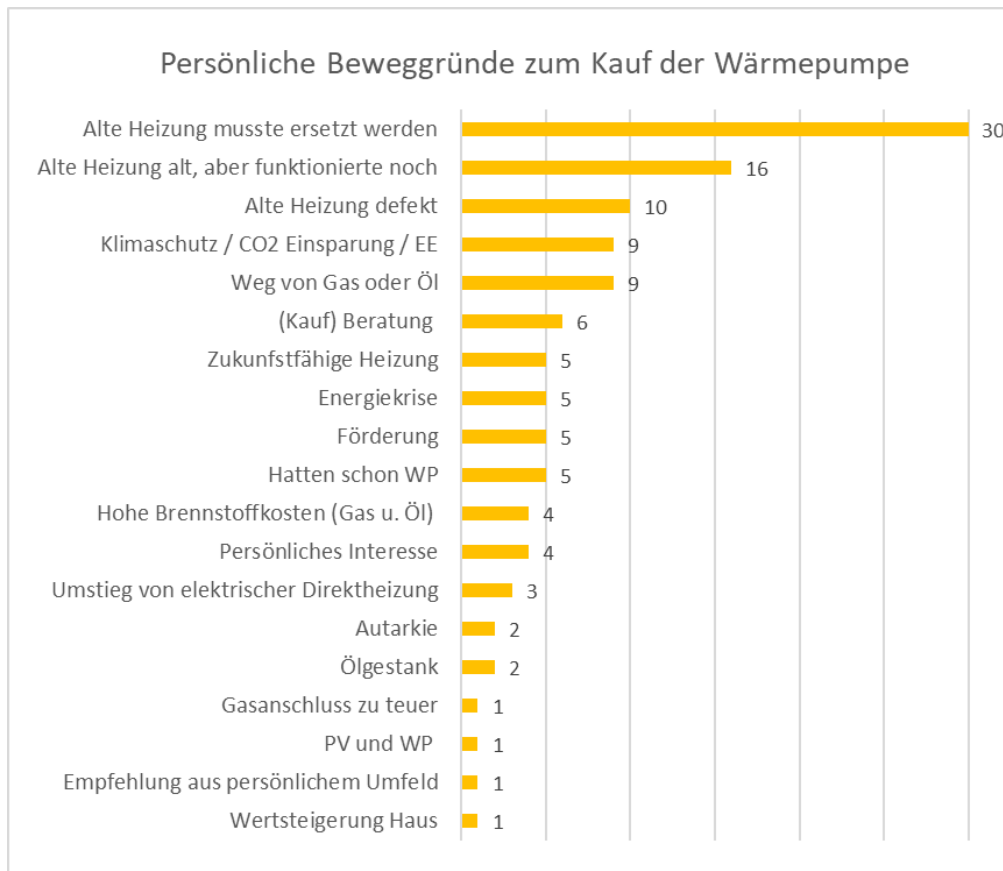
In Bild 62 sind die im Gespräch persönlich genannten Beweggründe zum Kauf der Wärmepumpenheizung aufgeführt. Die Angaben wurden gesichtet und soweit möglich in Gruppen zusammengefasst. Eine Mehrfachnennung war möglich, daher übersteigt die Summe der Nennungen die Anzahl der Befragten.

Hauptgründe für den Kauf einer neuen Heizungsanlage war, dass die alte Heizung altersbedingt erneuert werden musste (30 Nennungen). Nur bei 10 Befragten war die alte Heizung aber wirklich defekt. Bei 16 lief die Heizung noch, war aber schon alt. Somit kann man davon ausgehen, dass bei den meisten Befragten der Umstieg auf eine Wärmepumpe nicht kurzfristig nötig war, sondern ein ausreichender Planungs- und Entscheidungsvorlauf vorhanden war.

Bei sechs Befragten hat eine Beratung zur Entscheidung für eine Wärmepumpe geführt. Drei sind von einer elektrischen Direktheizung auf eine Wärmepumpe umgestiegen und fünf hatten schon vorher eine Wärmepumpe und diese nur erneuert.

Die anderen Antworten entsprechen grob den Antworten aus den Fragen mit den ja/nein Antworten und werden daher nicht mehr detailliert besprochen, können jedoch Bild 62 entnommen werden.

Bild 62: Persönliche Beweggründe zum Kauf der Wärmepumpe (Antworten sind in Antwortkategorien zusammengefasst)

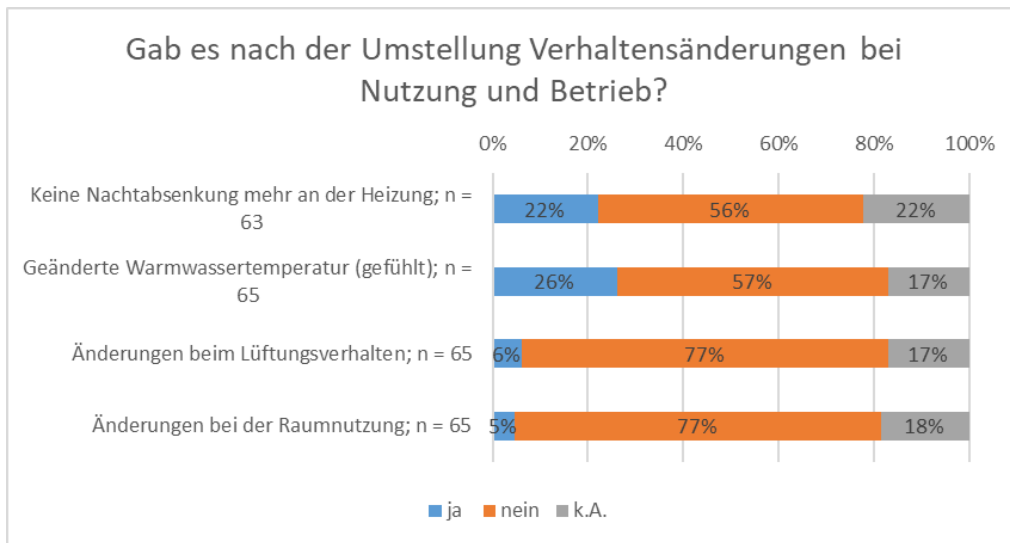


Gab es nach der Umstellung Verhaltensänderungen bei Nutzung und Betrieb?

Mit diesem Frageblock wurde untersucht, ob durch eine Wärmepumpenheizung sich das Nutzerverhalten bzw. der Gebäudebetrieb verändert hat. Die Vermutung war, dass sich eine niedrige Vorlauftemperatur an den Heizkörpern bzw. Heizflächen auch in der Nutzung widerspiegelt. Durch die geringeren Vorlauftemperaturen können z. B. Räume nicht mehr so schnell aufgeheizt werden und auch eine niedrigere Warmwassertemperatur könnte zu Verhaltensänderungen führen.

Diese Vermutungen bilden sich jedoch nicht in den Befragungsergebnissen ab, die in Bild 63 dargestellt sind. 56 % der Befragten haben nach wie vor eine Nachtabenkung der Heizung eingestellt, nur 22 % haben diese nach dem Einbau der Wärmepumpe nicht mehr aktiviert. Auf die Frage, ob sich die Warmwassertemperatur gefühlt geändert hat, haben nur 26 % mit ja geantwortet – bei den meisten Befragten hat sich in der Wahrnehmung nicht verändert. Eine gefühlt teilweise etwas geringere Warmwassertemperatur wurde nicht als Mangel bzw. Problem angesehen. In einem Fall ist die Warmwassertemperatur sogar gestiegen (nicht dargestellt). Auch beim Lüftungsverhalten und der Raumnutzung hat sich bei den allermeisten Befragten nichts geändert.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich durch die Wärmepumpenheizung nur in seltenen Fällen für die Bewohner bei der Gebäudenutzung deutliche Änderungen ergeben haben.

Bild 63: Änderungen im Nutzerverhalten nach dem Einbau der Wärmepumpenheizung

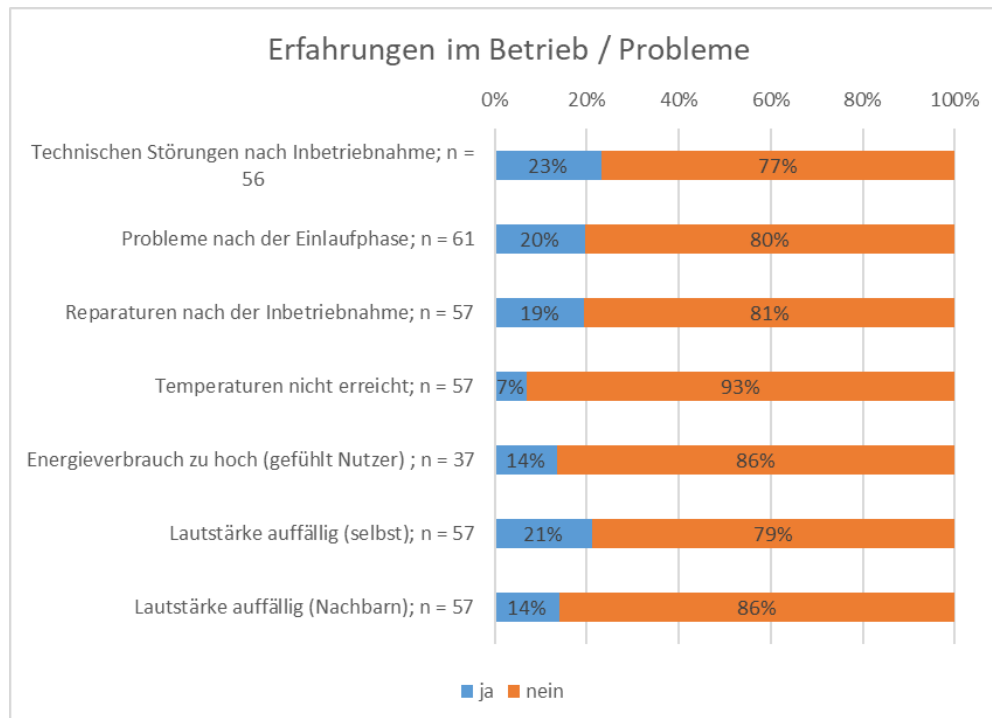
3.5.3 Erfahrungen im Betrieb / Probleme mit der Wärmepumpe

Um zu erfahren welche Probleme beim Betrieb der Wärmepumpe aufgetreten sind, wurde die in Bild 64 aufgeführten Fragen gestellt. Probleme nach der Inbetriebnahme sind bei 23 % der Teilnehmer vorgekommen. Bei 20 % der Befragten sind auch noch nach der Einlaufphase Probleme aufgetreten und bei 19 % mussten in der Nutzungsphase Reparaturen durchgeführt werden. Zu diesem Punkt folgt noch eine Detailauswertung unter Nennung der Probleme weiter unten in diesem Abschnitt.

Nur bei 7 % (4 Fälle) der Befragten sind die gewünschten Raumtemperaturen nicht erreicht worden. Dies gilt jedoch nicht für das komplette Gebäude. In einem Fall handelt es sich um zwei Zimmer, in einem anderen Fall um eine Etage mit einer älteren Nutzerin und in zwei Fällen um Wohnzimmer bei denen 22°C nicht erreicht werden, wenn der Kaminofen nicht betrieben wird.

Zum durch den Nutzer „gefühlten“ Energieverbrauch gab es weniger Antworten, da viele der Anlagen erst wenige Monate in Betrieb waren. Von den 37 Rückmeldungen waren 86 % zufrieden mit dem Energieverbrauch ihrer Wärmepumpe, ohne sich die Daten genauer angesehen zu haben. Nur 14 % hatten das Gefühl der Verbrauch könnte zu hoch sein.

Ein sensibles Thema ist die Lautstärke der Luft-Wasser-Wärmepumpen. Es wurde nach einer auffälligen Lautstärke gefragt, die dem Nutzer selbst oder den Nachbarn aufgefallen war. Diese Angaben beinhalten noch keine weitere Wertung bzw. ob die Lautstärke als störend empfunden wurde. 21 % der Besitzer von Wärmepumpen ist die Lautstärke der Außeneinheit aufgefallen. Von den Nachbarn sind in 14 % Rückmeldungen zu Auffälligkeiten bekannt gewesen. Auch zu den Lautstärkefragen folgt eine Dateiauswertung der Rückmeldungen.

Bild 64: Befragung zu Projektbeginn: Erfahrungen im Betrieb / Probleme

Detailauswertung Lautstärke

Bei den 12 Antworten zu auffälligen Geräuschen der Wärmepumpenanlage wurden bei 11 Befragten die ausformulierten Rückmeldungen aufgenommen und nachträglich vom IWU einem potentiellen Störungsgrad zugeordnet (Tabelle 10). Von den 11 Rückmeldungen wurden drei als wenig störend, 7 als mittel störend und nur eine als mehr störend eingeordnet. Soweit bekannt, wurden von den Befragten bis zum Zeitpunkt der Befragung keine Maßnahmen ergriffen, um die Lautstärke zu reduzieren.

Tabelle 10: Detailauswertung Lautstärke: Wahrnehmung der Betreiber (alle Einzelnennungen, Einstufung durch das IWU)

Lautstärke auffällig (Einzelangaben Betreiber)	Einstufung Störungsgrad (SG) (1: wenig, 2: mittel, 3: sehr störend)
Enteisen wird gehört	1
Vermutlich Störung, nur bei kalten Temperaturen	1
Stört selbst ein wenig	1
Vibration, hauptsächlich bei kalten Temperaturen	2
Anlage ist nicht so leise wie versprochen	2
Leichtes Surren im Winter hörbar, nicht in der Übergangszeit	2
Ist schon zu hören, bis 0°C nicht problematisch	2
Anlage hört man und auch verstärkt, bei sehr niedrigen Temperaturen	2
Könnte leiser sein	2
Hört man, könnte leiser sein	2
Lautstärke zu laut, an der Wand montiert, Vibrationen werden übertragen	3

Auch die Aussagen zu den Rückmeldungen der Nachbarn wurden genauer betrachtet und in drei Störungsgrade eingeordnet (Tabelle 11). Ein Gerät wurde gedreht und damit das Problem behoben, bei drei Nachbarn wird die Anlage gehört, jedoch nicht als besonders störend empfunden. Eine Anlage ist störend laut, aber nur im Winter, eine Anlage wird im Winter wegen einem nahe liegenden Schlafzimmer des Nachbarn im schallreduzierten Modus betrieben und im Sommer wegen der Lautstärke der Außeneinheit deaktiviert (Warmwasser wird dann über einen Heizstab bereitete).

Tabelle 11: Detailauswertung Lautstärke: Wahrnehmung der Nachbarn (alle Einzelnennungen)

Lautstärke auffällig (Angaben der Betreiber über Nachbarn) (7 angegeben)	Einstufung Störungsgrad (wenig 1,2,3 viel)
Das Gerät wurde gedreht damit ist das Problem erledigt	SG 1
Nachbarn hören es, stört nicht da kein Schlafzimmer angrenzend	SG 1
Haben sich nicht beschwert, hören es aber schon	SG 2
Nachbarn hören es, wenn es richtig kalt ist	SG 2
Störend wegen Lautstärke im Winter	SG3
WP im Sommer wegen Lärmproblemen aus und WW Bereitung über Heizstab	SG 3 (vor Durchführung der Maßnahme)
Schlafzimmer vom Nachbarn sehr nah dran	SG 3

Detailauswertung Technische Störungen nach der Inbetriebnahme

Von den technischen Störungen, die direkt nach den Inbetriebnahmen auftraten, sind in Tabelle 12 die Ursachen aufgeführt. Von den 10 beschriebenen Störungen standen alle bis auf eine in direktem Zusammenhang mit der Wärmepumpe. Auffällig ist, dass in zwei Fällen schon in der Anfangsphase der Kompressor ausgetauscht werden musste.

Tabelle 12: Detailauswertung: Technische Störungen nach der Inbetriebnahme

Technischen Störungen nach Inbetriebnahme	Mit Wärmepumpenbezug
Heizungsmischer und Regelung nicht ganz zufriedenstellend, Heizungswärme wird in der Betriebsart Warmwasserbereitung in den Kombispeicher eingespeist – das führt zu Effizienzverlusten	Nein
Fehler in Außeneinheit, wurde getauscht	Ja
Kompressoren beide ersetzt worden, Garantie	Ja
Technischen Störung: Kompressor defekt, getauscht, Fundament nicht fest	Ja
Heizstab war anfangs nicht angeschaltet	Ja
Handwerker hat die Anlage erst einmal falsch eingestellt. Erst im Mai kam der Techniker (Hersteller) und hat die Anlage richtig eingestellt	Ja
Warmwasser läuft noch nicht richtig, Mischer ggf. falsch verbaut. Zwei Ausfälle wegen Fehlermeldung, springt manchmal morgens nicht an. Kann aber per App gestartet werden	Ja
Eine Störung behoben über Fernwartung	Ja
Im Sommer bei 30°C zwei Mal ausgegangen, nach Neustart wieder ok, nach Software Update kein Problem mehr	Ja
Ausfall im November, Elektronikproblem an der Außeneinheit, nach 1,5 Monaten noch kein Termin für die Reparatur	Ja

Detailauswertung Probleme nach der Einlaufphase

Von den gemeldeten Problemen, die noch nach der Einlaufphase bestanden, waren zwei in einem üblichen Zeitrahmen für eine Nachbesserungen (rund ein Monat) noch nicht gelöst. Der Reparaturservice von Installateuren und Herstellern hat teilweise sehr lange gedauert. Eine der beschriebenen Störungen hat keinen direkten Bezug zur Wärmepumpe. Auffällig sind drei Probleme, die vermutlich durch den Handwerker verursacht wurden und bei denen der Hersteller vor Ort kommen musste, um diese zu beheben (Tabelle 13).

Tabelle 13: Detailauswertung: Probleme nach der Einlaufphase

Probleme nach der Einlaufphase	Mit Wärmepumpenbezug
Frequenzen stören DSL Empfang	Ja
Installation schlecht, Heizkurve k. A., Anlagenbauer insolvent	Nein
Erst Wandmontage, Vibrationen wurden an die Wand übertragen, jetzt auf dem Boden, kein Problem mehr	Ja
WW läuft noch nicht richtig, Mischer ggf. falsch verbaut. Zwei Ausfälle wegen Fehlermeldung, springt manchmal morgens nicht an. Kann aber per App gestartet werden	Ja
Warmwasser läuft nur über Gas, im letzten Sommer war das noch nicht so	Ja
Handwerker nicht geübt, falscher Einbau hat Schäden an der Anlage verursacht, Reparatur durch den Hersteller hat lange gedauert	Ja
Handwerker hat nur Grundeinstellung durchgeführt, Rest hat der Besitzer alleine gemacht. Probleme bei der Einstellung und mit dem Handwerker (Support), Anlage taktet häufig	Ja
Lautstärke: vermutlich Störung, nur bei kalten Temperaturen	Ja
Handwerker hat die Anlage erst einmal falsch eingestellt. Erst im Mai kam der Techniker des Herstellers und hat die Anlage richtig eingestellt	Ja
Lautstärke: Anfangs ja, Vibration an die Hauswand übertragen. Problem wurde behoben	Ja
Kompressor ausgefallen	Ja

Detailauswertung Reparaturen

Bei den aufgetretenen Reparaturen sind 9 mit Bezug zur Wärmepumpe, drei Reparaturen waren unabhängig von der Art des Wärmeerzeugers (Tabelle 14). Auffällig ist, dass der Kompressor bei drei Anlagen und bei einer Anlage die Außeneinheit inkl. Kompressor getauscht wurden. Alle anderen Reparaturen zeigen keine Auffälligkeiten.

Tabelle 14: Detailauswertung: Reparaturen nach der Inbetriebnahme

Reparaturen nach der Inbetriebnahme	Mit Wärmepumpenbezug
Kompressoren beide getauscht	Ja
Kompressor getauscht	Ja
Kompressor getauscht	Ja
Außeneinheit getauscht	Ja
Einmal Störung, Außenanlagen Schelle defekt, Platine defekt getauscht	Ja
Platine defekt, musste getauscht werden	Ja
Lagerschaden Ventilator nach ca. 7 Jahren, 1 x Kältemittel nachgefüllt	Ja
Zu wenig Kältemittel, Störung ab -10 °C	Ja
Sicherung war zu klein dimensioniert und wurde getauscht	Ja
Zirkulationspumpe ausgefallen, ein Mischer ist zugefahren, Störung in der Steuerung	Nein
Mischer wurde umgeklemmt	Nein
Mischer defekt	Nein

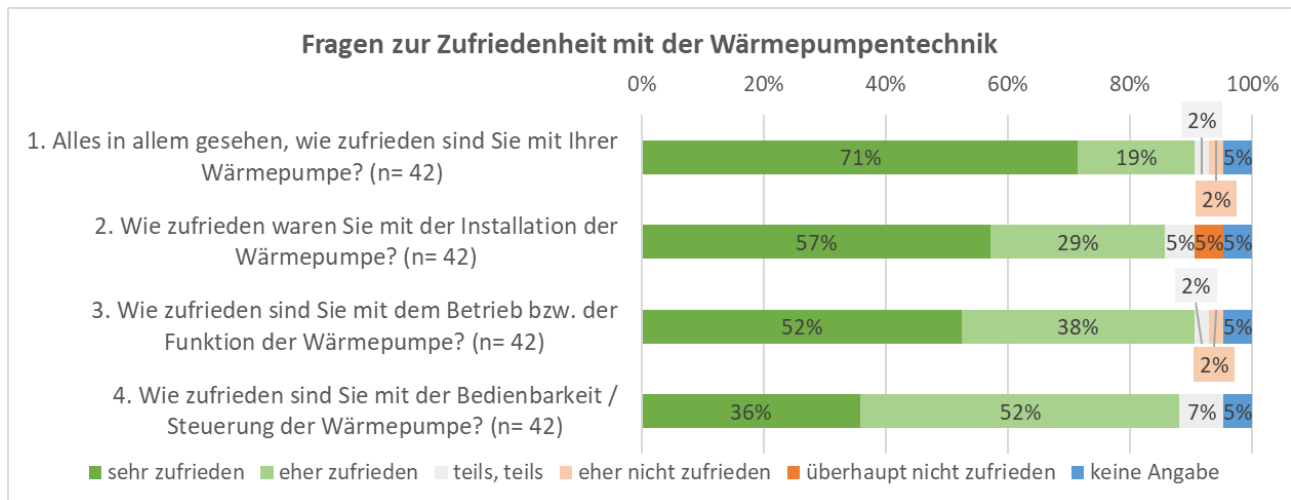
3.6 Zweite Befragung zur Zufriedenheit der Eigentümer zum Projektende

Zum Ende der Projektlaufzeit wurde im März 2025 eine zweite Befragung der Teilnehmer als Online-Befragung durchgeführt. In dieser Befragung wurden die allgemeine Zufriedenheit mit der Anlagentechnik erfragt. Zudem wurde die Zufriedenheit mit der Steuerung (Bedienbarkeit, App), der Lautstärke (nur LW-WP) und auch der Einweisung in die Anlagentechnik durch den Installationsbetrieb abgefragt.

Von den Teilnehmern sind 39 Rückmeldungen eingegangen. Zudem wurden auch die Interessenten angeschrieben bei denen nur Ortstermine durchgeführt wurde (keine Teilnahme an der Feldphase) und darüber drei Rückmeldungen generiert.

Trotz der oben in Kapitel 3.5 beschriebenen aufgetretenen Probleme sind 90 % der Wärmepumpenbetreiber zufrieden mit ihren Anlagen, 71 % sind sogar sehr zufrieden. Mit der Installation sind noch 86 % zufrieden, lediglich 2 (5 %) sind überhaupt nicht zufrieden mit der ausgeführten Installation. Mit der Funktion und dem Betrieb der Wärmepumpen äußerten sich jedoch wieder 90 % zufrieden, allerdings mit einer leichten Verschiebung zu nur noch 52 %, die sehr zufrieden sind. Mit der Bedienbarkeit sind mit 88 % die überwiegende Mehrheit zufrieden. Die Ergebnisse zu diesem Fragenblock sind in Bild 65 dargestellt.

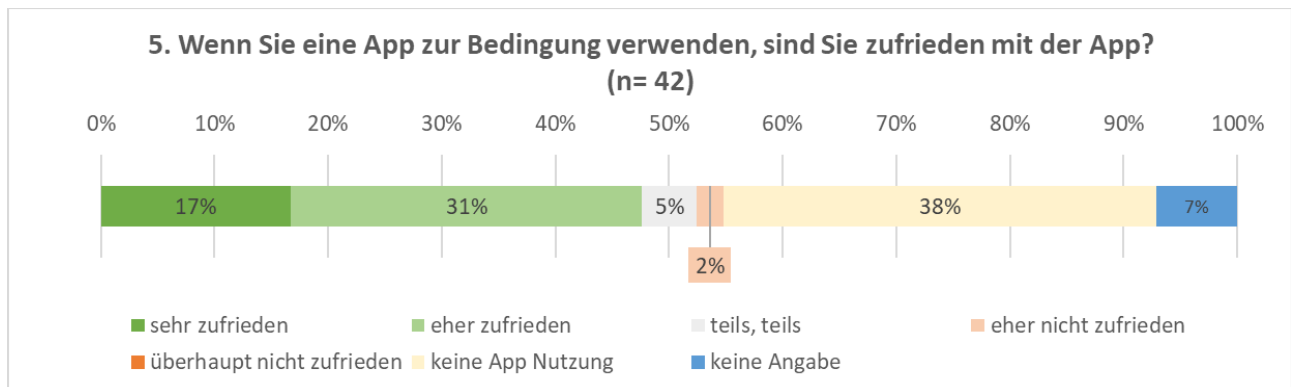
Bild 65: Befragung - allgemeine Fragen zur Zufriedenheit



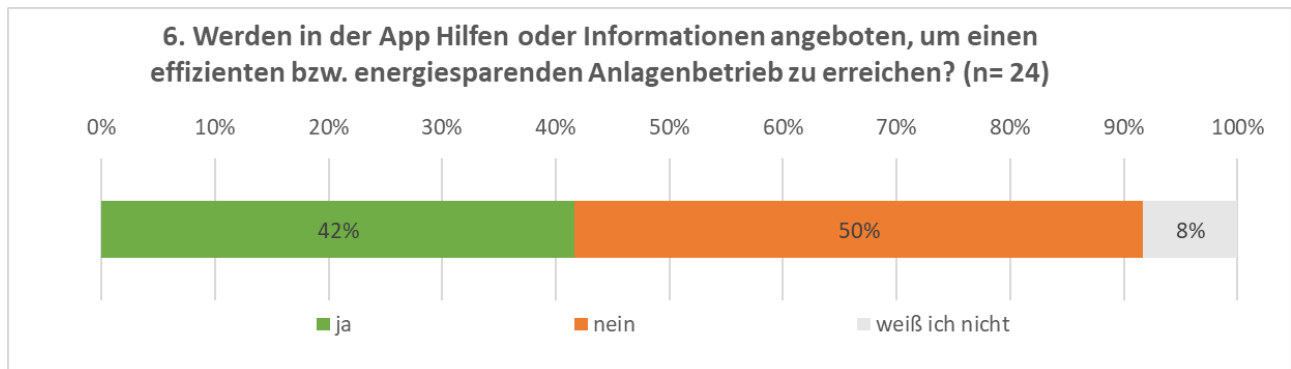
Nutzung / Bedienung von Geräten und Apps

Fast alle Hersteller bieten mittlerweile eine App zur Wärmepumpe an, in der aktuelle Informationen sowie Energiedaten angezeigt und zum Teil auch Einstellungen vorgenommen werden können. Etwas mehr als die Hälfte nutzt eine App und diejenigen, die die App nutzen sind mehrheitlich zufrieden mit der Funktion. Lediglich 5 % aller Befragten (9 % der App-Nutzer) sind nur teilweise zufrieden und einer ist eher unzufrieden mit Funktion der App (Bild 66).

Bild 66: Befragung zur Bedienung mit einer App

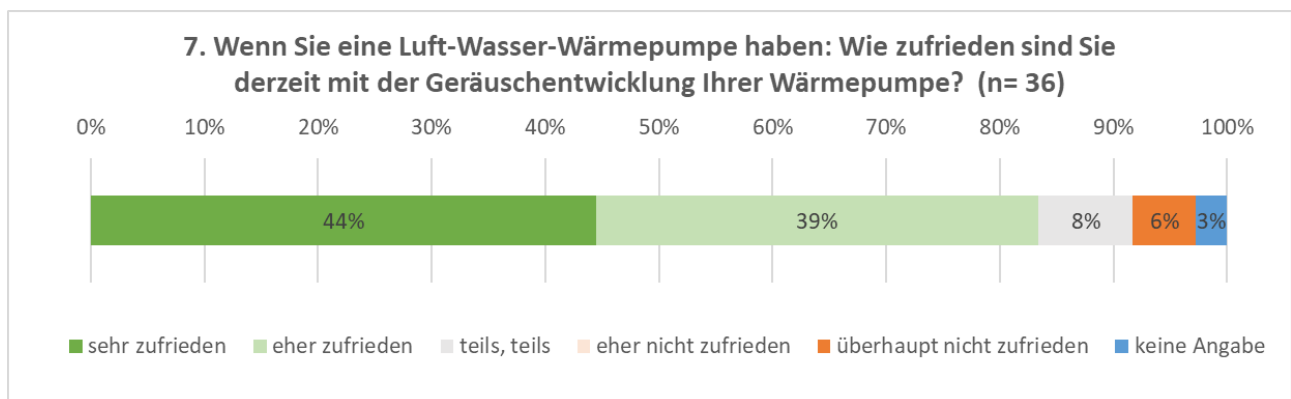


Von den 24 App-Nutzern werden bei 42 % (10 Anlagen) von der App Informationen Angeboten, um die Anlage effizient bzw. energiesparend zu Betreiben. Die Hälfte der Apps tut dies nicht und zwei Teilnehmer konnten keine Aussage dazu machen (Bild 67).

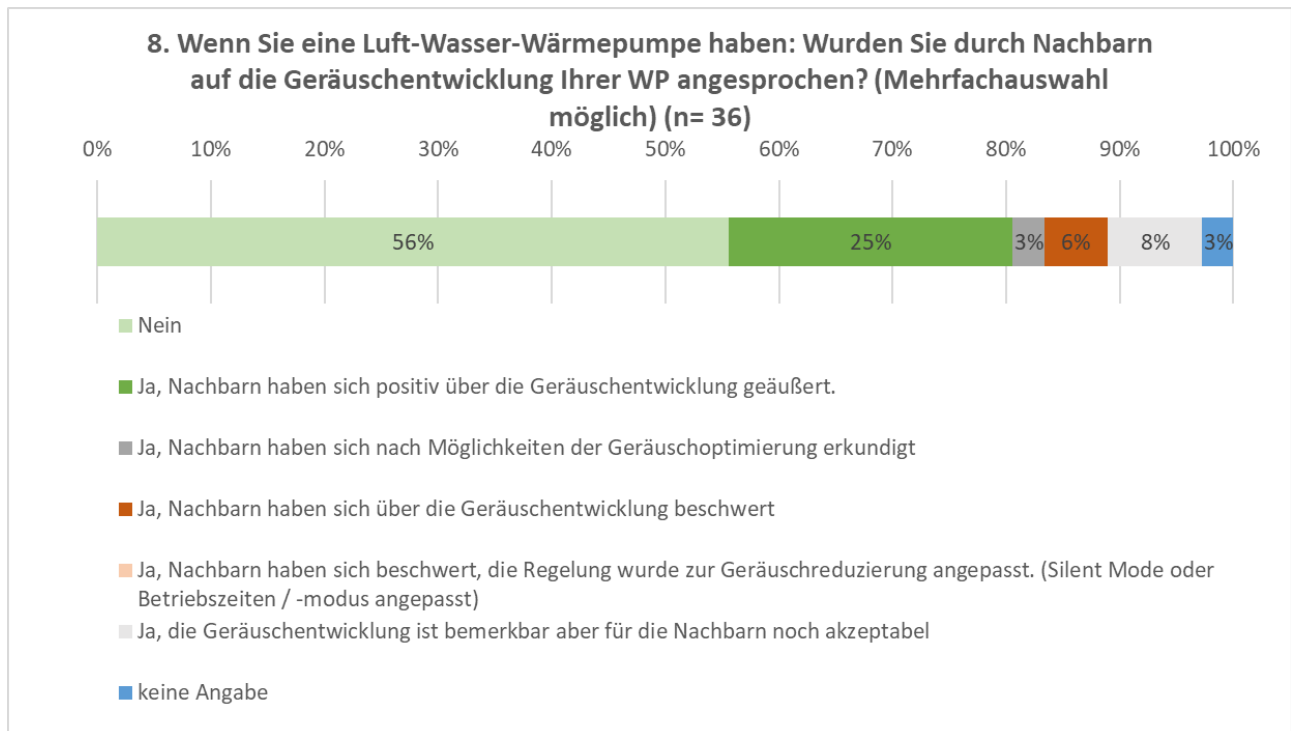
Bild 67: Befragung Informationen zur Anlagenoptimierung mit der App

Geräuscentwicklung der Außengeräte von Luft-Wasser-Wärmepumpen

Da die Geräuscentwicklungen von Wärmepumpen immer wieder in der Diskussion sind, wurden dazu erneut Fragen gestellt, auch da einige Anlagen bei der ersten Befragung erst seit kurzen in Betrieb waren und somit längere Betriebserfahrungen fehlten. Von den 36 Rückmeldungen von LW-WP Betreibern sind 83 % zufrieden mit der Geräuscentwicklung der Wärmepumpe (Bild 68). Drei (8 %) sind nur teils, teils zufrieden und zwei (6 %) sind jedoch überhaupt nicht zufrieden mit der Lautstärke der Wärmepumpe.

Bild 68: Befragung - Zufriedenheit mit der Geräuscentwicklung der Wärmepumpe

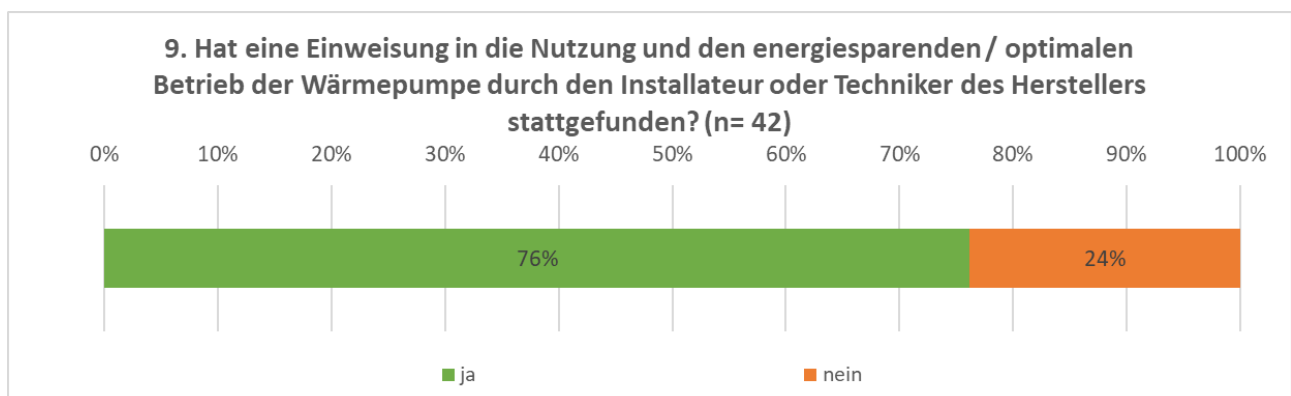
Um abzuschätzen ob und wie die Nachbarn auf die LW-WP reagieren, wurde abgefragt ob die Nachbarn das Thema angesprochen haben (Bild 69). Über die Hälfte der Teilnehmer wurde nicht von den Nachbarn angesprochen. Dies ist einerseits erst einmal neutral zu bewerten, da nicht klar ist, was aus einer direkten Befragung der Nachbarn resultieren würde. Andererseits ist eine fehlende Rückmeldung (da ein Lob wegen ausbleibender Störung nicht unbedingt der Regelfall ist) tendenziell eher positiv zu werten. Bemerkenswert ist, dass sich darüber hinaus ein Viertel der Nachbarn explizit positiv geäußert hat. Ein Nachbar hatte sich nach Optimierungsmöglichkeiten erkundigt und zwei Nachbarn haben sich über die Geräuscentwicklung beschwert. Für drei Nachbarn war die Geräuscentwicklung akzeptabel. In keinem Fall wurde jedoch die Betriebsweise nach einer Beschwerde mit dem Ziel angepasst, dass die LW-WP weniger Geräusche verursacht.

Bild 69: Befragung - Geräuschentwicklung und Nachbarn

Inbetriebnahme, Einweisung und Optimierung

Wichtig für den energiesparenden Betrieb einer Wärmepumpenanlage ist ein gewisses Grundverständnis für die Charakteristik der Wärmepumpen und die Einstellparameter, die den Energieverbrauch der Anlage positiv wie auch negativ beeinflussen können. Einige Wärmepumpenbetreiber sind aufgeschlossen und gut informiert, andere jedoch nicht. Bei diesen kommt dem Installateur eine entscheidende Rolle zu, dem Kunden die Anlage zu erklären, möglichst optimal einzustellen und noch einmal in der Heizperiode nach zu justieren.

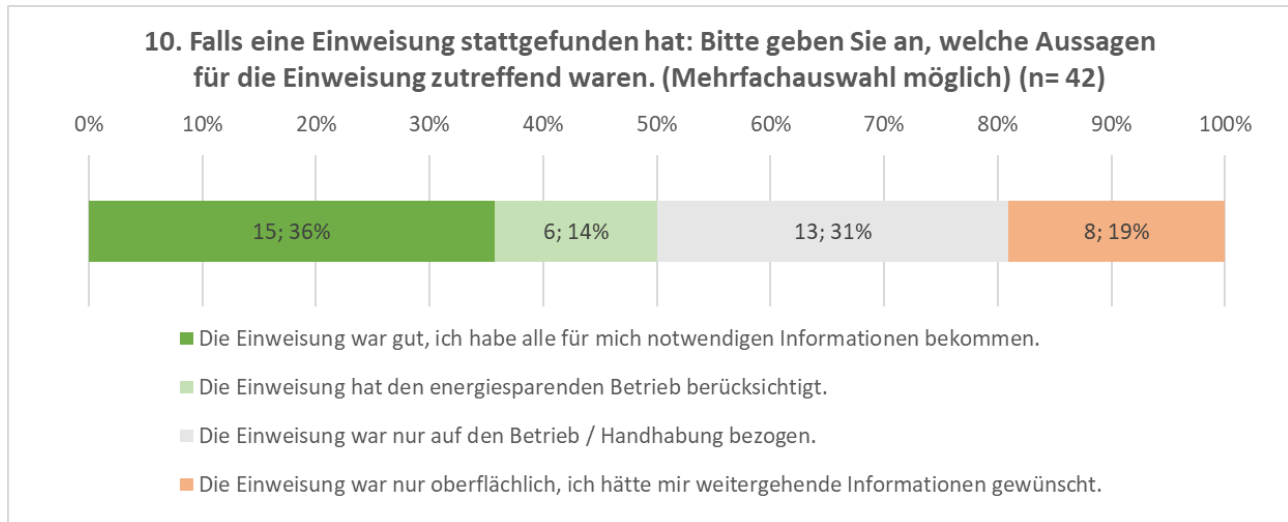
Dreiviertel der Teilnehmer hat eine Einweisung in die Nutzung und den energiesparenden / optimalen Betrieb der Wärmepumpe erhalten, jedoch auch ein Viertel der Teilnehmer nicht (Bild 70).

Bild 70: Befragung - Einweisung durch Installateur

Bei der folgenden Frage zur Unterweisung (Bild 71) waren Mehrfachnennungen möglich, sechs Teilnehmer haben keine Auswahl getroffen. Die Zahl der Nennungen steht vor der Prozentangabe im Diagramm. Etwas mehr als ein Drittel war zufrieden mit der Einweisung in die Anlage und bei sechs Anlagen wurde auch auf

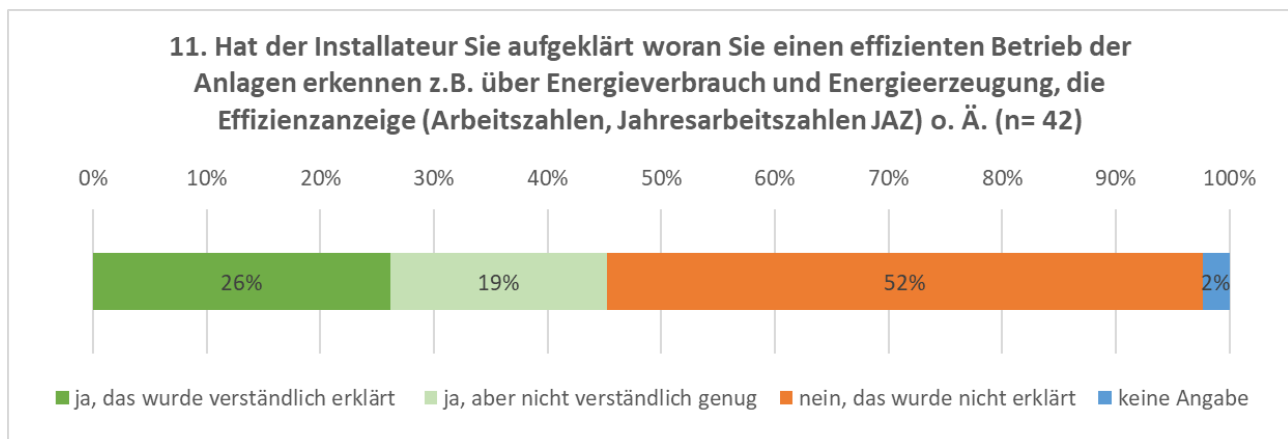
den energiesparenden Betrieb eingegangen. Leider hat bei einem Drittel die Einweisung nur den Betrieb und die Handhabungen der Anlage berücksichtigt und acht Teilnehmer hätten sich mehr Erklärung vom Installateur gewünscht.

Bild 71: Befragung - Einweisung Umfang und Zufriedenheit

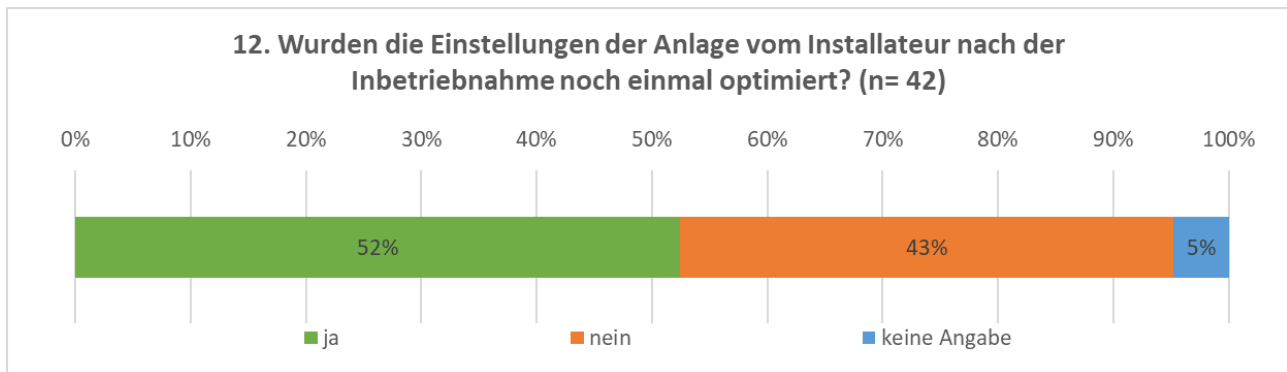


Dass sich bei etwa der Hälfte der Anlagen die Einweisung nur auf den Betrieb bezogen hatte bzw. die Einweisung nur oberflächlich war, spiegelt sich auch in den Ergebnissen der nächsten Frage wieder (Bild 72). Nur bei etwa bei der Hälfte der Anlagen wurde der Betreiber aufgeklärt, woran man den effizienten Betrieb der Wärmepumpenanlage erkennen kann.

Bild 72: Befragung - Aufklärung woran ein effizienter Betrieb festgestellt werden kann



Zumindest bei der Hälfte der Anlagen wurden diese vom Installateur nach der Inbetriebnahme noch einmal besucht und der Anlagenbetrieb zur Optimierung angepasst (Bild 73). Diese für einen effiziente Betrieb einer Wärmepumpe notwendige Optimierung wurde leider bei fast der Hälfte der Anlagen nicht durchgeführt.

Bild 73: Befragung - Betriebsoptimierung durch den Installateur

3.7 Analyse der Anlagentechnik ausgewählter Gebäude

Gegen Ende der Felduntersuchung wurden 10 Wärmepumpenanlagen ausgewählt, die im Rahmen eines Ortstermins zwischen Januar und März 2025 genauer begutachtet werden sollten. Ziel der Ortstermine war, einerseits den Status-Quo der Anlage zu erheben, die wesentlichen Einstellungen der Regelung zu dokumentieren (bzw. Änderungen gegenüber dem Ortstermin zu Beginn der Feldphase festzustellen) und die Hydraulik- sowie ggf. die Messschemata zu kontrollieren. Diese Erhebungen dienten der Plausibilisierung der bisher erhobenen Daten. Andererseits sollten Verbesserungspotenziale bei Installation, Regelung und Betriebsführung identifiziert werden.

Bei erkannten Verbesserungspotenzialen wurden bei dem Vor-Ort-Termin keine Änderungen vorgenommen, sondern die Vorschläge dem Eigentümer mitgeteilt. Wenn dieser selbst oder durch einen Handwerker anschließend Änderungen vornehmen ließ, wurde er gebeten diese bei der Übertragung der Verbrauchsdaten mit zu notieren. Aufgrund der Restlaufzeit der Feldphase bis Juni 2025 konnten Änderungen jedoch kaum in der Verbrauchsauswertung bewertet werden.

Es wurden überwiegend Anlagen ausgewählt, deren Effizienz hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind, aber auch einzelne besonders effiziente Anlagen sowie Wärmepumpen mit besonderen oder ungewöhnlichen Konzepten. Bei allen besuchten Anlagen handelt es sich um Luft-Wasser-Wärmepumpen, teilweise als Monoblock, als Split-Gerät oder als bivalente Anlage mit Gas- oder Pelletkessel als zweitem Wärmeerzeuger.

Die ersten vier Termine wurden gemeinsam von IWU-Mitarbeitern mit dem Wärmepumpengutachter Hans-Jürgen Seifert aus Lößnitz durchgeführt, die restlichen von IWU-Mitarbeitern. Kurze Dokumentationen aller Anlagen der Ortstermine finden sich in Anhang H.

Zustand der Anlagen

Die Anlagen waren überwiegend recht gut errichtet, allerdings ist die Rohrleitungsdämmung bei fast allen Anlagen nur bis zu den Anschlüssen und Armaturen geführt, so dass Teile der Installationen nicht gedämmt waren. Bei einer Anlage war die Trinkwarmwasserleitung nur dünn mit Filz isoliert. Eine Anlage besitzt einen Rücklaufspeicher mit 18 Litern Volumen, der ungedämmt ist (Bild 74).

Bei den Kältemittelleitungen bzw. den Leitungen von einem Monoblock-Gerät ins Gebäude waren zwar kaum weitere Auffälligkeiten zu erkennen, allerdings bestand die Isolierung dieser Leitungen bei mehr als der Hälfte der vor Ort überprüften Anlagen aus einer dünnen Schlauchdämmung. Bei einer Anlage war die Leitung zum Außengerät mit ca. 13 m sehr lang und ebenfalls nur mit einem dünnen Schlauch gedämmt. Auch wenn das Temperaturniveau der Leitungen in der Regel geringer ist als in einer traditionellen Heizungsverteilung (70/50 °C) und die Durchmesser der Kältemittelleitung klein und damit die wärmeabgebende Oberfläche

geringer ist, sollten im Sinne der Gesamteffizienz diese Leitungen zukünftig besser gedämmt werden. Hier wäre es wünschenswert, wenn die Hersteller dickere Leitungsdämmungen für ihre Kältemittelleitungen als Standard anbieten würden. Positive Beispiele sind einige Anlagen, bei denen diese Leitungen ebenso gut und lückenlos gedämmt waren, wie für die Heizungsleitungen vorgesehen.

Bei einigen Anlagen war kein Rohr oder Schlauch am Sicherheitsventil angeschlossen, so dass bei einem Überdruck das Ventil in die Anlage und teilweise auf Elektronik ablassen würde.

Bei zwei Gebäuden waren einzelne Heizkörper mit Heizkörperventilatoren nachgerüstet worden. Eines dieser Gebäude verfügt außerdem über eine Einrohrheizung.

Bild 74: Beispiele für Auffälligkeiten bei den untersuchten Anlagen: Speicherfühler passt nicht (oben links), Isolierung lückenhaft und Installation schwer nachzuvollziehen (oben rechts), ungedämmter Rücklaufspeicher rechts (unten links) und fehlende Ableitung am Überdruckventil (unten rechts)



Regelung der Anlagen

Ein Teil der Gebäude wies eine den vorhandenen Heizflächen angemessene Heizkennlinie auf, bei anderen könnte für eine Optimierung der Anlageneffizienz die Heizkurve weiter abgesenkt (Steigung) oder verschoben (Parallelverschiebung) werden.

Es waren teilweise sehr hohe Raumsolltemperaturen eingestellt (bis 26 °C). Diese Temperaturen entsprechen jedoch nicht unbedingt den realen Raumtemperaturen, sondern sind Ausdruck einer eingestellten

Parallelverschiebung der Heizkennlinie. Hier wäre eine Trennung von Solltemperatur und Parallelverschiebung für die Nutzer leichter nachvollziehbar.

Bei der Anlage mit Kombispeicher wird der Heizkreis bei Außentemperaturen über ca. 5 °C abgeschaltet, wenn die Wärmepumpe im Warmwasserladebetrieb ist. Die Warmwasserbereitung erfolgt durch eine Frischwasserstation, gleichzeitig wird die Warmwasserzirkulation 24 Stunden am Tag betrieben (rücklauftemperaturgesteuert, wenn eine Schwelltemperatur unterschritten wird). Der Rücklauf dieser Frischwasserstation wird mit einem 3-Wege-Ventil entweder in der Speichermitte (Zirkulationsbetrieb) oder unten (Zapfung) in den Speicher zurückgeführt. Diese grundsätzlich energetisch positive Verschaltung wurde vor Ort getestet. Dabei konnte kein Umschalten des 3-Wege-Ventils zwischen Zirkulations- und Zapfbetrieb festgestellt werden. Zudem ist die Frischwasserstation, wenn auch in geringem Umfang, dauernd durchströmt, was zusätzlich zur Durchmischung des Speichers beiträgt. Der durchmischte Kombispeicher führt zu häufigem WW-Betrieb. Dieser WW-Betrieb besitzt Vorrang bei der Wärmeerzeugung, obwohl die Wärme hauptsächlich auf (in der Regel niedrigerem) Heizungstemperaturniveau genutzt wird, was die Effizienz reduziert.

Die Hybridanlage mit Pelletkessel besitzt drei getrennte Regelungen (Wärmepumpe, Pelletkessel, Nutzung von PV-Überschüssen), was die Komplexität des Systems erhöht. Weiterhin ist ein Pufferspeicher mit Phasenwechselmaterial und Trennblech vorhanden, was die Speicherkapazität erhöhen und die Wärmeverluste verringern kann. Über die Phasenwechseltemperatur konnten keine Informationen gefunden werden.

Die Einstellparameter der Anlagen sind teilweise sehr unterschiedlich bezeichnet, was im Fehlerfall auch die Behebung durch einen nicht speziell geschulten Handwerksbetrieb erschwert.

Weitere Punkte:

- Zwei Anlagen verfügen über eine PV-Überschussladung, die in der Regel den Trinkwasserspeicher höher erwärmt, zwei weitere Anlagen besitzen hierzu einen Elektroheizstab, um PV-Überschüsse im Trinkwarmwasserspeicher zu nutzen. Damit können die Eigentümer grundsätzlich mehr vor Ort erzeugten PV-Strom nutzen.
- Bei drei Anlagen berichteten die Eigentümer von häufigem Takten der Wärmepumpe – z. B. im Heizbetrieb. Bei einer dieser Anlagen war im Vorfeld von Außentemperaturregelung auf eine kombinierte Regelung unter Berücksichtigung der Innentemperaturregelung umgestellt worden.
- Eine Regelung über den Energiepreis war bei einer Anlage zwar verfügbar, aber nicht aktiviert (es liegen keine Informationen vor, ob ein zeitvariabler Stromtarif verfügbar wäre).
- Bei einer Anlage gehen die Einstellungen verloren, wenn sie vom Netz getrennt wird.

Optimierungspotenziale

- Bei sieben Anlagen wurden hohe Einstellungen der Heizkurve vorgefunden, die nicht zu dem energetischen Zustand des Gebäudes und der Wärmeübergabe zu passen schienen.
- Bei zwei Anlagen war die Einstellung der Heizkreispumpe vermutlich zu hoch, so dass eine schrittweise Reduktion empfohlen wurde.
- Bei einigen Anlagen wurde vorgeschlagen, die Zeiten der Warmwasserbereitung vom Morgen in die Tagesstunden mit höheren Außentemperaturen zu verschieben und das Zeitfenster für die Warmwasserbereitung zu beschränken. Diese Maßnahme ist von der bevorrateten Trinkwarmwassermenge und dem Nutzungsverhalten der Bewohner abhängig und sollte von den Eigentümern schrittweise ausprobiert werden.

- Außerdem war bei fünf Anlagen die Warmwasserzirkulation entweder permanent in Betrieb oder hatte unnötig lange Laufzeiten. Hier wurde eine Empfehlung gegeben insbesondere nachts die Zirkulationszeiten zu reduzieren.
- Bei sieben Anlagen war die Dämmung der Rohrleitungen / Bauteile nicht vollständig, vor allem die Armaturen und die Anschlüsse an Wärmepumpe, Speicher, hydraulischen Weichen usw. waren oft nicht richtig gedämmt.

Zufriedenheit der Eigentümer

Die Eigentümer äußerten sich überwiegend zufrieden mit der Funktion der Anlagen und auch den Heizkosten, selbst wenn die Effizienz nur mittel oder schlecht war.

Bei einigen Anlagenbetreibern ist es negativ aufgefallen, dass die Installateure und auch die vom Hersteller beauftragten Techniker offensichtlich nicht mit den Anlagen und deren Technik vertraut waren. Bei einer Anlage musste drei Mal der Techniker des Herstellers kommen, bis die Anlage richtig in Betrieb genommen werden konnte.

Sonstiges

- Bei einer der Anlagen waren viel zu kleine Pufferfühler vorhanden, die nur lose in den Hülzen im Puffer lagen. Diese sollten auf alle Fälle getauscht werden.
- Bei drei Anlagen waren mehrere Regelungen vorhanden, die nicht miteinander kommunizierten und bei denen die Eigentümer (und teilweise auch die Experten vor Ort) die gegenseitige Beeinflussung der Einstellungen nicht abschätzen konnten.
- Bei einer Anlage war eine separate (alte) Regelung für den Mischer des Fußboden-Heizkreises vorhanden, bei dem die Heizkurve steiler eingestellt war, als die Steigung in der Wärmepumpe. Dies führte dazu, dass der ebenfalls vorhandene Temperaturbegrenzer den Heizkreis immer wieder abschaltete, was zu einem Takten der Umwälzpumpe führte.
- Bei einem Gebäude existiert der Handwerksbetrieb nicht mehr und der neue SHK-Betrieb wartet nur den Gaskessel, nicht jedoch die Wärmepumpe.

3.8 Sanierungsfahrpläne der Gebäude aus der Felduntersuchung

Ziel einer Gebäudesanierung ist die Senkung des Energieverbrauchs eines Gebäudes, um so die Treibhausgasemissionen zu minimieren. Aus der Erkenntnis, dass viele Sanierungen in Einzelschritten durchgeführt werden, ist das Beratungswerkzeug individueller Sanierungsfahrplan (iSFP) entstanden.

Der individuelle Sanierungsfahrplan ist ein Instrument, um die Sanierung von Gebäuden in einzelnen Schritten zu koordinieren und zu optimieren. Ziel der Schritt-für-Schritt-Sanierung ist durch das Bestmöglich-Prinzip einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen. Nach dem Merkblatt zum iSFP bedeutet das Bestmöglich-Prinzip, dass alle Optionen zur Senkung des Primärenergiebedarfs unter Beachtung der im individuellen Fall gegebenen Möglichkeiten berücksichtigt werden [BAFA 2021]. Dazu werden Maßnahmenvorschläge zur Energieeffizienzverbesserung an der Gebäudehülle und der Anlagentechnik unter Einbeziehung von erneuerbaren Energien im Beratungsbericht gefordert.

Vorschläge zur Optimierung von Bauteilen der Gebäudehülle sind nötig, wenn der U-Wert des Bauteils im Ist-Zustand nicht den Anforderungen des GEG (Bauteilkennwerte Einzelmaßnahmen) genügt. Sanierungsvor-

schläge für die Anlagentechnik werden gefordert, wenn diese älter als 10 Jahre ist. Vorschläge zur Nutzung von erneuerbaren Energien sind nötig, wenn diese bisher noch nicht genutzt werden.

Ziel eines iSFP ist es, für das Gebäude eine Effizienzhausstufe nach den Vorgaben der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) zu erreichen. Die Sanierungsmaßnahmen sind im Bericht so zu gliedern, dass sie aufeinander aufbauen.

Um die Sanierung / Sanierungsberatung anzureizen, werden für das Vorliegen eines iSFP zusätzliche Boni bei der BEG Förderung vergeben. Liegt für ein Gebäude ein iSFP vor, wird ein Förderbonus von 5 % für einige Maßnahmen gewährt und die Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben einiger Maßnahmen erhöht sich von 30.000 € auf 60.000 € pro Wohneinheit. Zum Zeitpunkt der Erstellung der im Folgenden ausgewerteten iSFP wurde noch ein Förderbonus von 5 % für einige Maßnahmen gewährt.

Im Rahmen des iSFP werden die Gebäudehülle und die Anlagentechnik detailliert betrachtet und mithilfe eines einfach verständlichen Farbcodes vom rot bis grün bewertet. In Bild 75 sind die Symbole und Kategorien dargestellt.

Bild 75: Zu bewertende Gebäudekomponenten im iSFP [dena 2021]

Gebäudekomponenten					
Gebäudehülle		Anlagentechnik		Qualitätssicherung	
Komponenten:		Komponenten:			
	Wände, inklusive Kellerwänden		Heizung	verbessert	Wärmebrücken
	Dach, oberer Gebäudeabschluss		Warmwasserbereitung	verbessert	Luftdichtheit
	Fenster, inklusive Dachflächen enstern		Wärme- und Warmwasser- verteilung, inklusive Speiche- rung und ü bergabe		
	Boden, unterer Gebäudeabschluss		Lüftung		

Tabelle 3: Komponentenzuordnung im iSFP

Die Bewertung der Gebäudehülle erfolgt über die U-Werte der Bauteile, je geringer der U-Wert, desto besser die Bewertung des Bauteils. Die Bewertung der Heizung und der Warmwasserbereitung erfolgt über die Effizienzanzahl $e_{g,p}$ die beschreibt, wie viele Kilowattstunden Primärenergie vom Wärmeerzeuger benötigt werden, um eine Kilowattstunde Wärme an das Verteilsystem abzugeben.

Bei der Bewertung der Wärmeversorgung werden die einzelnen Komponenten der Heizungsanlage, wie die Speicherverluste des Heizungspufferspeichers, die Rohrleitungsdämmung, die Heizungspumpen, die Wärmeübergabe mit Ventilen und die Vorlauftemperaturen der Verteilung betrachtet. Für die Warmwasserbereitung gehen der Trinkwarmwasserspeicher, die Warmwasser-Rohrleitungsdämmung und die Zirkulationspumpen mit ein. Diese 8 Punkte werden als arithmetisches Mittel und somit gleichwertig gewertet, Komponenten die nicht vorhanden sind, werden nicht berücksichtigt.

Die Reihenfolge der einzelnen Sanierungsschritte wird vom Energieberater in Absprache mit dem Gebäudebesitzer abgestimmt und kann individuell sehr unterschiedlich sein. Zudem ist es zum Erreichen des Förderzuschusses nicht nötig, die Reihenfolge der Maßnahmen entsprechend dem iSFP umzusetzen. Werden z. B.

an der Fassade aber erste Putzschäden festgestellt, dann könnte eine Fassadendämmung vor einer ursprünglich zuvor geplanten Dachsanierung durchgeführt werden.

Sinnvoll ist es in der Regel erst die Gebäudehülle zu sanieren, um dann in einem späteren Schritt eine an den geringen Energieverbrauch des Gebäudes angepasste Heizungsanlage einzubauen. Ist jedoch die Heizungsanlage schon älter und besteht die Gefahr eines plötzlichen Totalausfalls, ist ggf. diese Maßnahmen vorzuziehen.

Eine ausführlichere Darstellung des iSFP findet sich im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023].

Auswertung der vorliegenden individuellen Sanierungsfahrpläne

Von den teilnehmenden 48 Gebäuden gaben die Eigentümer für 11 Gebäude an, dass ein individueller Sanierungsfahrplan erstellt worden sei (23 %). Von diesen iSFP standen sechs zur Auswertung zur Verfügung, die im Zeitraum zwischen Februar 2022 und August 2022 erstellt worden waren. Nur bei vier iSFP lagen auch die Umsetzungshilfen vor. Die Ausgestaltung der iSFP ist dabei an ein einheitliches Format für die Förderung gebunden, dennoch unterscheiden sich die iSFP in ihrer Ausgestaltung:

Von den sechs vorliegenden iSFP haben drei eine Luft-Wasser-Wärmepumpe als Maßnahme zum Heizungstausch vorgeschlagen, einer etwas abstrakter nur „Wärmepumpe“. Ein iSFP ging nicht auf die Heizungstechnik ein und bei einem Gebäude wurde eine Pellet-Heizung vorgeschlagen. Bei allen diesen Gebäuden war zum Zeitpunkt der Felduntersuchung eine Wärmepumpe vorhanden.

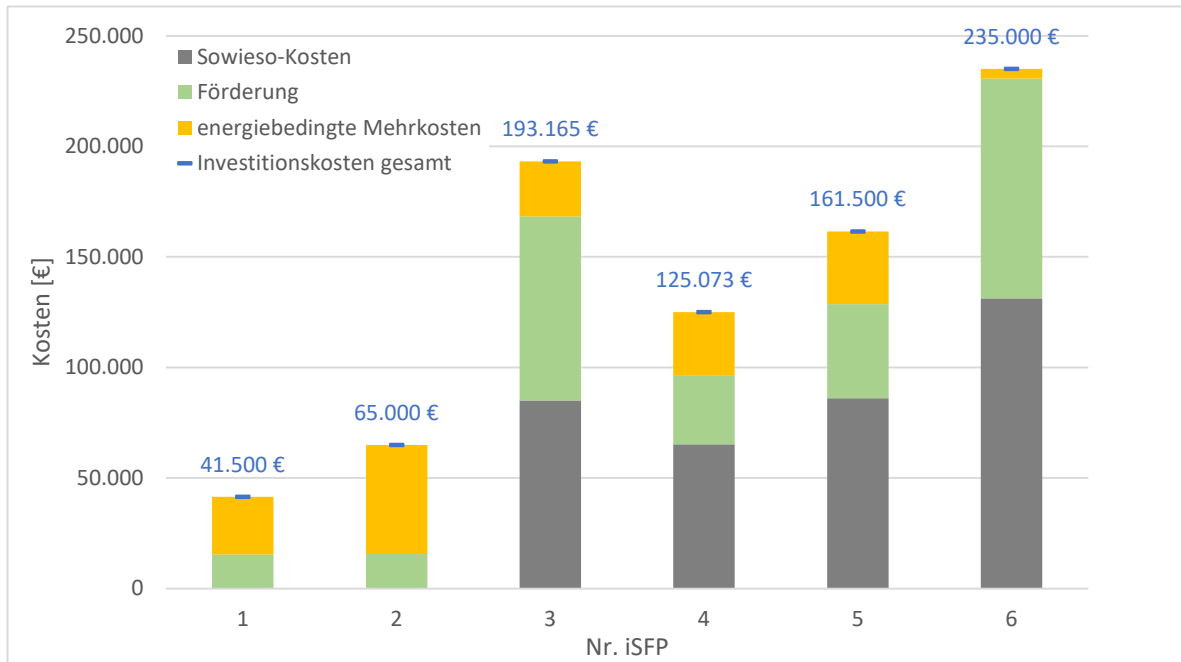
Bei zwei der Gebäude war bereits eine PV-Anlage vorhanden, ein iSFP schlug eine PV-Anlage mit Speicher im Rahmen des Sanierungsfahrplans vor, ein weiterer nannte diese als Option für die Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe und zwei iSFP sind nicht auf das Thema PV-Anlage eingegangen.

Der energetische Endzustand der Gebäude am Ende aller Maßnahmen liegt zwischen KfW Effizienzhaus 55 und 115 (jede Zwischenstufe wird in einem iSFP erreicht), ein iSFP umfasst nur die Anlagentechnik und erreicht dadurch keinen EH-Standard.

Das konkrete Vorgehen für die schrittweise Sanierung ist sehr unterschiedlich. Ein iSFP empfiehlt nur die Erneuerung der Anlagentechnik und schlägt keine Ertüchtigung der Gebäudehülle vor (Baujahr 1986), zwei iSFP schlagen keine zeitliche Abfolge der Maßnahmen vor (alle Maßnahmen gemeinsam), für das jüngste Gebäude (Baujahr 1992) werden zwei Schritte vorgeschlagen (große Teile der Hülle sowie die Heizung sofort, Wände und Dachschrägen in 15 Jahren) und zwei iSFP unterteilen die Maßnahmen in mehrere Einzelschritte, wobei davon einer zuerst den Heizungstausch vorschlägt, beim zweiten ist der Heizungstausch am Ende der Sanierungsstrategie vorgesehen. Da auf die Dimensionierung der Heizflächen höchstens bei den weiteren Hinweisen eingegangen wurde („sollte vom Heizungsbau geprüft werden“), war die Eignung der Gebäude für den Einsatz einer Wärmepumpe kein Thema bei der Erstellung der iSFP, auch nicht bei der vorgeschlagenen Reihenfolge der Maßnahmen.

Alle iSFP geben Investitionskosten und mögliche Förderungen an, vier der sechs iSFP auch Sowieso-Kosten. Bild 76 zeigt die große Spanne der angegebenen Kosten wie auch die verbleibenden energiebedingten Kosten nach Abzug der Sowieso-Kosten und der Förderung. Letztere schwanken stark zwischen 2 % und 76 % der Investitionskosten – je nachdem, ob bzw. wie hoch die Sowieso-Kosten ausgewiesen wurden. Nicht alle iSFP geben für alle vorgeschlagenen Bauteile Förderungen an, obwohl diese z. B. für die Gebäudehülle über die Förderung von Einzelmaßnahmen ebenfalls verfügbar gewesen wäre.

Bild 76: Auswertung der Investitions- und Sowieso-Kosten für die vorgeschlagenen Sanierungsschritte sowie Förderung und verbleibende Kosten für den Eigentümer



Empfehlungen zur Anpassung des iSFP:

In den ausgewerteten iSFP fehlen einige Informationen, die dem Gebäudebesitzer helfen würde zu entscheiden, ob schon eine Beheizung mit einer Wärmepumpe schon möglich wäre, bzw. welche Schritte noch fehlen um dies später zu ermöglichen. Sinnvoller Ergänzungen wären:

- Bei Gebäuden mit mehrheitlich Heizkörperbeheizung: Erfassung der Heizkörper und Ausweisung der übertragbaren Heizleistungen bei unterschiedlichen Vorlauftemperaturen, aber auf jeden Fall die für Auslegung auf 55/45/20.
- Angabe der vereinfachten Gebäudeheizlast in allen beschriebenen Sanierungszuständen
- Ausweisung einer „NT-Readiness“, wenn die übertragbare Leistung der Heizkörper bei (55/45/20) größer ist als die vereinfachte ermittelte Heizlast des Gebäudes. Die „NT-Readiness“ sollte bei allen beschriebenen Sanierungszuständen bewertet werden.

Für teilweise mit Flächenheizung und teilweise mit Heizkörpern beheizte Gebäude müssten Verfahren validiert / entwickelt werden, wie vereinfacht der Anteil der Heizlast der heizkörperbeheizten Gebäudeteile abgeschätzt werden kann (Beispielsweise über eine prozentuale Reduzierung der ermittelten Heizlast für den Wohnflächenanteil oder den Hüllflächenanteil der mit Flächenheizung beheizt wird).

4 Analyse von Versorgungsvarianten für Einzelgebäude



4.1 Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus dem Zwischenbericht

Eine zentrale Herausforderung beim Einsatz von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden lautet:

„Unter welchen Bedingungen können Wärmepumpen auch in teil- oder unsanierten Gebäuden effizient und ökologisch eingesetzt werden?“

Diese Fragestellung wurde bereits im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023] untersucht, und die Kernergebnisse der Untersuchung werden hier zusammengefasst. Mithilfe dynamischer Simulationen der thermischen Anlagentechnik mit dem Software Polysun wurde der Einsatz von Luft-Wasser-Wärmepumpen in zwei Modellgebäuden untersucht: ein Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienhaus (MFH) aus den 1960er-Jahren, basierend auf der Wohngebäudetypologie [Loga et al. 2015], die leicht gegenüber der Typologie angepasst wurden. Die Gebäudedaten sind in Tabelle 15 zu finden.

Tabelle 15: Gebäudekennwerte der untersuchten Modellgebäude

Modellgebäude	Einfamilienhaus - EFH	Mehrfamilienhaus - MFH
		
Anzahl Wohneinheiten	1	8
Beheizte Wohnfläche [m²]	138	603
Gebäudenutzfläche A_N [m²]	161	722
beheiztes Gebäudevolumen [m³]	503	2257
Gebäudelänge [m]	13,0	18,8
Gebäudebreite [m]	9,5	11,0
Anzahl beheizte Geschosse außer KG	2	4
Fläche Außenwände [m²]	141,1	547,2
Fläche Fenster und Türen [m²]	29,2	132,6
Fläche oberste Geschossdecke [m²]	-	194,73
Fläche Dach [m²]	100,6	-
Fläche Kellerdecke [m²]	115,8	194,73
Bestandsheizkörper	18 Heizkörper à 1 kW Leistung bei 70/60 °C	63 Heizkörper à 1 kW Leistung bei 70/60 °C

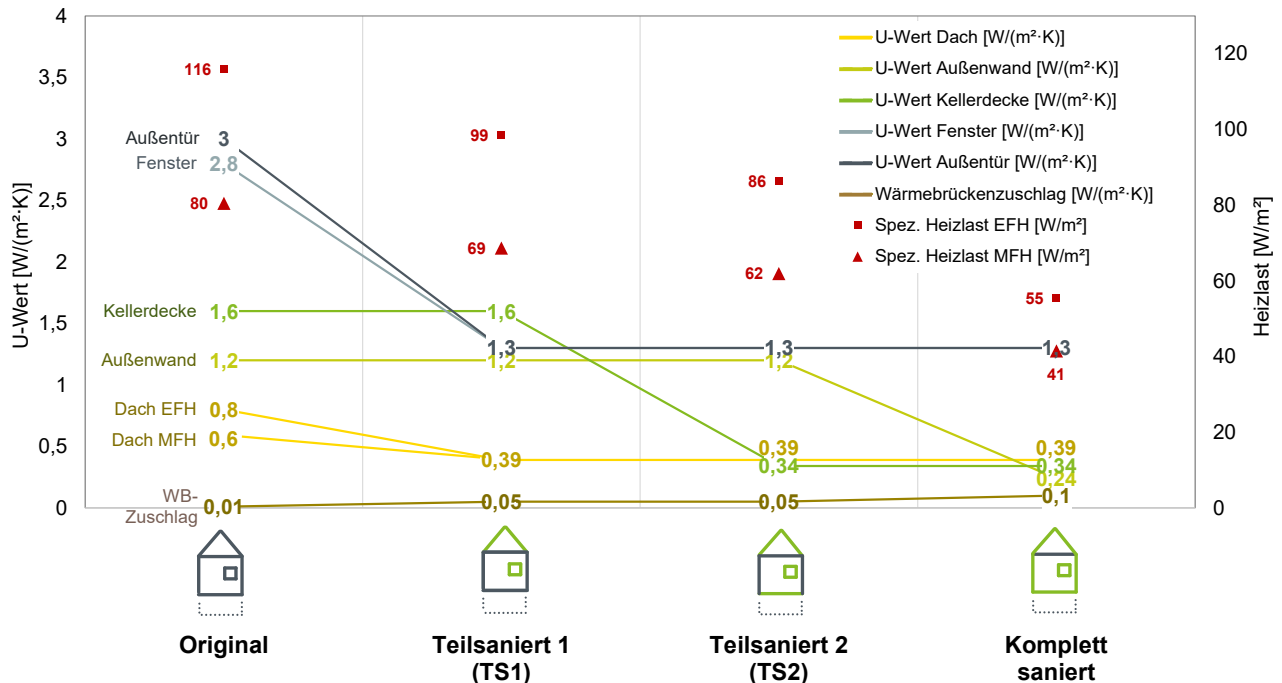
Dabei wurden für das EFH und für das MFH vier verschiedenen Sanierungszustände definiert:

- **Original** (unsaniert)
- **TS1** (Teilsanierung 1): Dach und Fenster saniert
- **TS2** (Teilsanierung 2): Dach, Fenster und Kellerdecke saniert
- **Komplettsanierung**: Dach, Fenster, Kellerdecke und Außenwände saniert

Die Bauteil-U-Werte, die Heizlasten sowie die Wärmebrückenzuschläge der jeweiligen Varianten sind in Bild 77 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den Modellgebäuden um Momentaufnahmen typischer Bestandsgebäude handelt, bei denen im Laufe der Zeit einzelne Sanierungsmaßnahmen durchgeführt

wurden. Sie entsprechen daher nicht dem Ambitionsniveau aktuell geförderter Sanierungsmaßnahmen. Sie bilden jedoch die Realität vieler bereits teilsanierter Gebäude ab.

Bild 77: Bauteil-U-Werte, Heizlasten und Wärmebrückenzuschläge der Sanierungsvarianten



Der Einsatz von Wärmepumpen wurde in unterschiedlichen Konfigurationen simuliert. Untersucht wurden verschiedene Systemkonfigurationen mit Fokus unter anderem auf die Betriebsart (monovalent, bivalent mit Ölkessel, monoenergetisch mit Heizstab), die hydraulische Einbindung sowie die Kombination mit Photovoltaik. Die Wärmepumpe wurde bewusst auf den zukünftigen Zustand nach einer vollständigen Sanierung dimensioniert. Als maximale Vorlauftemperatur bei einer Norm-Außentemperatur von -11 °C (hessischer Mittelwert) wurde für alle Gebäudevarianten 55 °C angesetzt. Was die Regelung betrifft, arbeitet die Wärmepumpe mit voller Leistung, sie ist nicht leistungsmodulierend (keine Inverter-Wärmepumpe). Die Wärmepumpen wurden im Gegensatz zu Kapitel 4.2.3 immer auf den vollsanierten Zustand dimensioniert.

4.1.1 Einfamilienhaus

Hydraulikvarianten und Betriebsart

Zu Beginn soll zuerst eine Erläuterung der verschiedenen Betriebsarten von Wärmepumpensystemen erfolgen. Bei monovalenten Systemen arbeitet die Wärmepumpe als alleiniger Wärmeerzeuger und muss die gesamte Heizlast des Gebäudes selbst bei tiefsten Außentemperaturen abdecken. Monoenergetische Systeme ergänzen die Wärmepumpe um einen elektrischen Heizstab, wobei beide Wärmeerzeuger dieselbe Energieart nutzen, daher die Bezeichnung "monoenergetisch". Der Heizstab wird nur bei sehr niedrigen Außentemperaturen aktiviert, wenn die Leistung der Wärmepumpe nicht mehr ausreicht. Bivalente Systeme kombinieren die Wärmepumpe mit einem zweiten Wärmeerzeuger mit unterschiedlicher Energiequelle, typischerweise einem Kessel (in dieser Untersuchung mit Öl betrieben). Ab einer definierten Außentemperatur (Bivalenzpunkt) arbeiten beide Systeme parallel.

Untersuchte Systemkonfigurationen

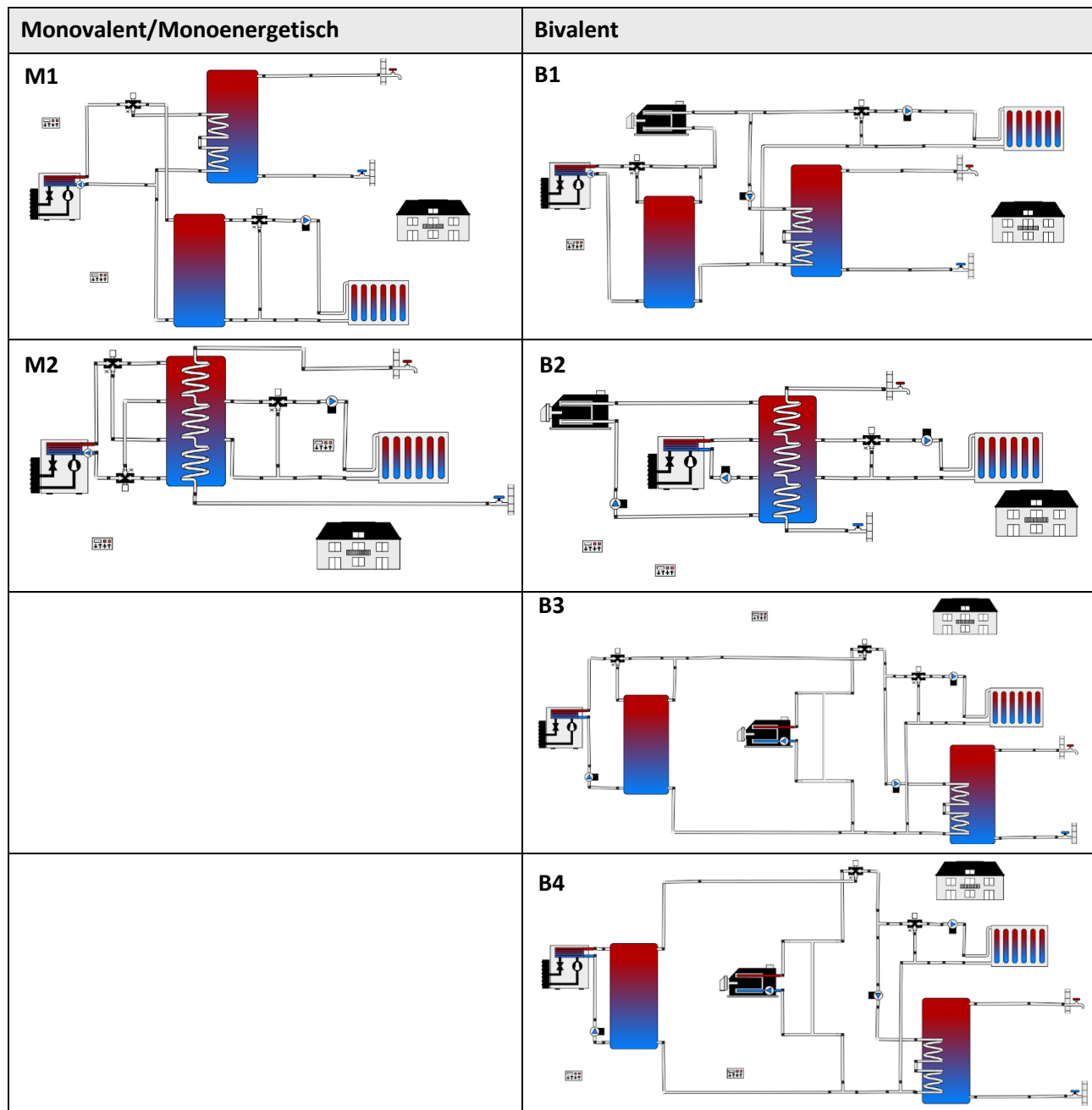
Die hydraulische Einbindung der Luft-Wasser-Wärmepumpe wurde in verschiedenen Varianten untersucht (Bild 78), die sich grundlegend in ihrer Speicherkonfiguration und hydraulische Einbindung unterscheiden. Bei den monovalenten bzw. monoenergetischen Systemen wurden zwei Hauptvarianten betrachtet: Die Variante M1 arbeitet mit getrennten Speichern, einem 300-Liter-Pufferspeicher für die Heizung und einem 200-

Liter Trinkwarmwasserspeicher. Die Variante M2 nutzt dagegen einen 600-Liter-Kombispeicher, der sowohl die Heizungs- als auch die Warmwasserbereitung übernimmt.

Bei den bivalenten Systemen ergeben sich durch die Integration des zusätzlichen Kessels vielfältigere Verschaltungsmöglichkeiten:

- B1: Reihenschaltung von Wärmepumpe und Kessel mit getrennten Speichern
- B2: Parallele Einspeisung beider Wärmeerzeuger in einen Kombispeicher
- B3: Parallelschaltung mit hydraulischer Weiche und getrennten Speichern
- B4: Wärmepumpe speist ausschließlich in den Pufferspeicher, Kesseleinbindung über hydraulische Weiche

Bild 78: Hydraulik-Varianten für das EFH-Modellgebäude (M=monoenergetisch/monovalent, B=bivalent)

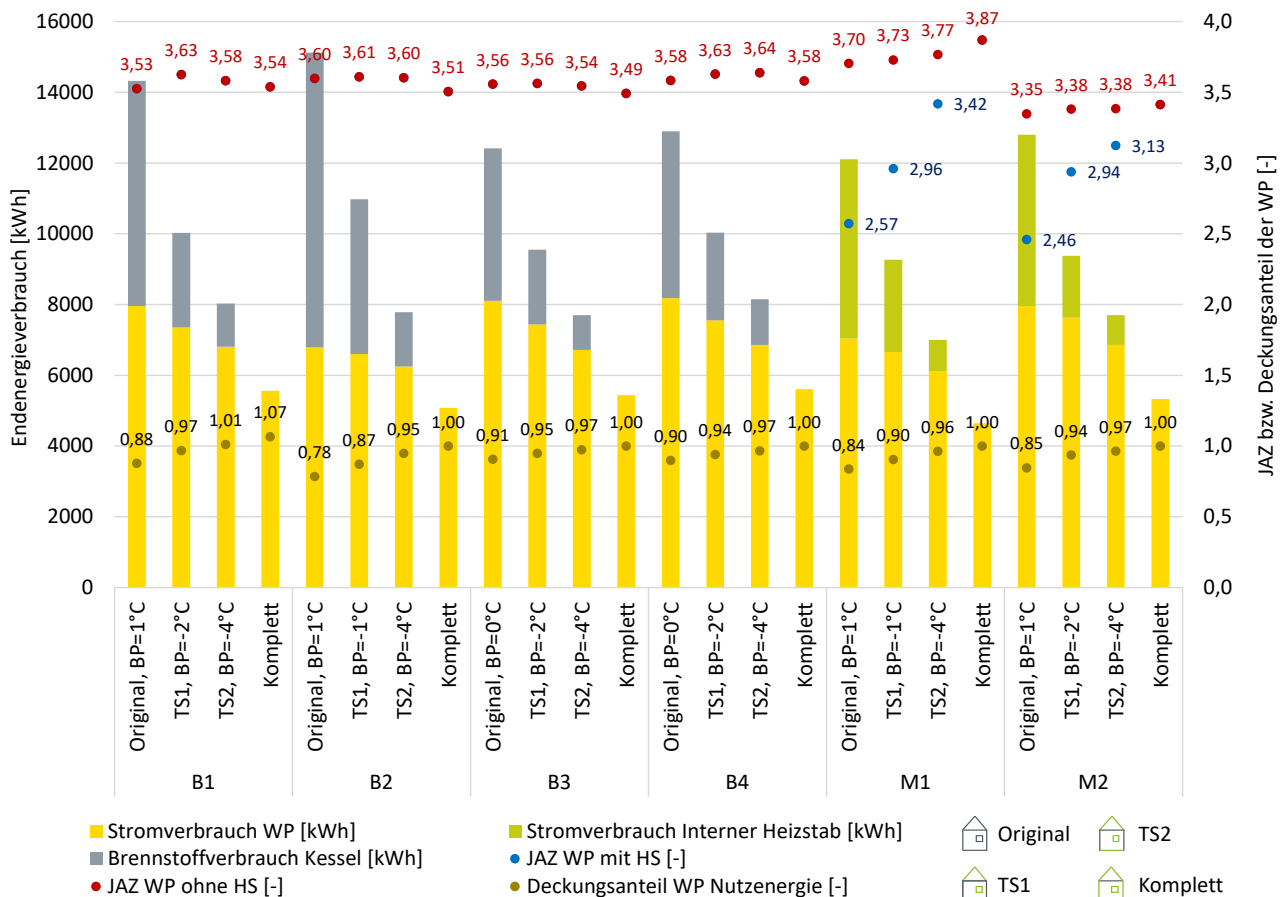


Simulationsergebnisse und Bewertungskriterien

Die Ergebnisse der Simulationen der verschiedenen hydraulischen Konzepte bei unterschiedlichen Sanierungszuständen sind in Bild 79 zusammengefasst.

Die Effizienz der verschiedenen Systemkonfigurationen wurde anhand der Jahresarbeitszahl (JAZ) bewertet, wobei zwischen der reinen Wärmepumpeneffizienz (JAZ_{WP}) und der Gesamtsystemeffizienz inklusive Heizstab (JAZ_{WP+HS}) unterschieden wurde. Diese Differenzierung ist entscheidend, da der Einsatz des elektrischen Heizstabs die Gesamteffizienz des Systems erheblich reduzieren kann. Als Vergleichsmaßstab dient die durchschnittliche JAZ_{WP+HS} von 3,1, die in der Feldstudie "WPsmart im Bestand" [Günther et al. 2020] für monoenergetische Luft-Wasser-Wärmepumpen im Bestand ermittelt wurde. Systeme mit JAZ_{WP+HS} -Werten deutlich unter diesem Referenzwert gelten als „ineffizient“, während Werte ab 3,1 einen effizienten Betrieb kennzeichnen. Die ausgewählte Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 7,4 kW bei A2/W35 und einen vergleichsweise hohen $COP_{A2/W35}$ von 4,0. Bei 55 °C Vorlauftemperatur und 7 °C Außentemperatur verringert sich der COP auf 3,4.

Bild 79: Endenergieverbrauch, Jahresarbeitszahlen und Deckungsanteile der Wärmepumpe für unterschiedlichen hydraulischen Einbindungen in vier Sanierungszustände



Ergebnisse der bivalenten Systeme

Die bivalenten Systeme B1 bis B4 zeigen bei allen Sanierungszuständen eine bemerkenswerte Stabilität ihrer Effizienzwerte. Unabhängig vom Dämmstandard des Gebäudes erreichen diese Systeme konstant hohe Jahresarbeitszahlen zwischen 3,49 und 3,64. Diese Konstanz erklärt sich durch die intelligente Arbeitsteilung zwischen Wärmepumpe und Kessel: Die Wärmepumpe läuft in ihrem optimalen Effizienzbereich, während der fossile Kessel nur bei sehr niedrigen Außentemperaturen die Spitzenlast übernimmt.

Der Deckungsanteil der Wärmepumpe variiert dabei mit dem Sanierungszustand. Die verschiedenen hydraulischen Einbindungsvarianten zeigen nur marginale Unterschiede in ihrer Effizienz, was für eine hohe Robustheit dieser Systemkonfigurationen spricht. Allerdings trägt der Kesselbetrieb trotz seines geringen Anteils zu zusätzlichen Treibhausgasemissionen bei, die in der weiteren Analyse berücksichtigt wurden.

Ergebnisse der monoenergetischen Systeme

Im Gegensatz zu den bivalenten Varianten weist die Effizienz der monoenergetischen Systeme M1 und M2 eine Abhängigkeit vom energetischen Standard der Gebäudehülle auf. Im unsanierten Zustand arbeitet das System eher ineffizient mit JAZ_{WP+HS} -Werten deutlich unter 3,0. Das System M2 mit Kombispeicher erreicht im Originalzustand lediglich eine JAZ_{WP+HS} von 2,46, während M1 mit getrennten Speichern auf 2,57 kommt. Diese Werte resultieren aus dem häufigen Einsatz des elektrischen Heizstabs, der bei niedrigen Außentemperaturen einen erheblichen Anteil der Wärmeversorgung übernehmen muss.

Ab TS1 werden schon akzeptable Effizienzen von 2,9 erreicht. Ab TS2 überschreiten beide Systeme die kritische Schwelle von JAZ_{WP+HS} 3,1: M1 erreicht 3,42 und M2 3,13. Diese Verbesserung setzt sich bei der Vollsanierung fort, wo M1 mit einer JAZ von 3,87 und M2 mit 3,41 gute Effizienzwerte erreichen. In diesem Zustand arbeiten die Systeme monovalent.

Systemvergleich und technische Bewertung

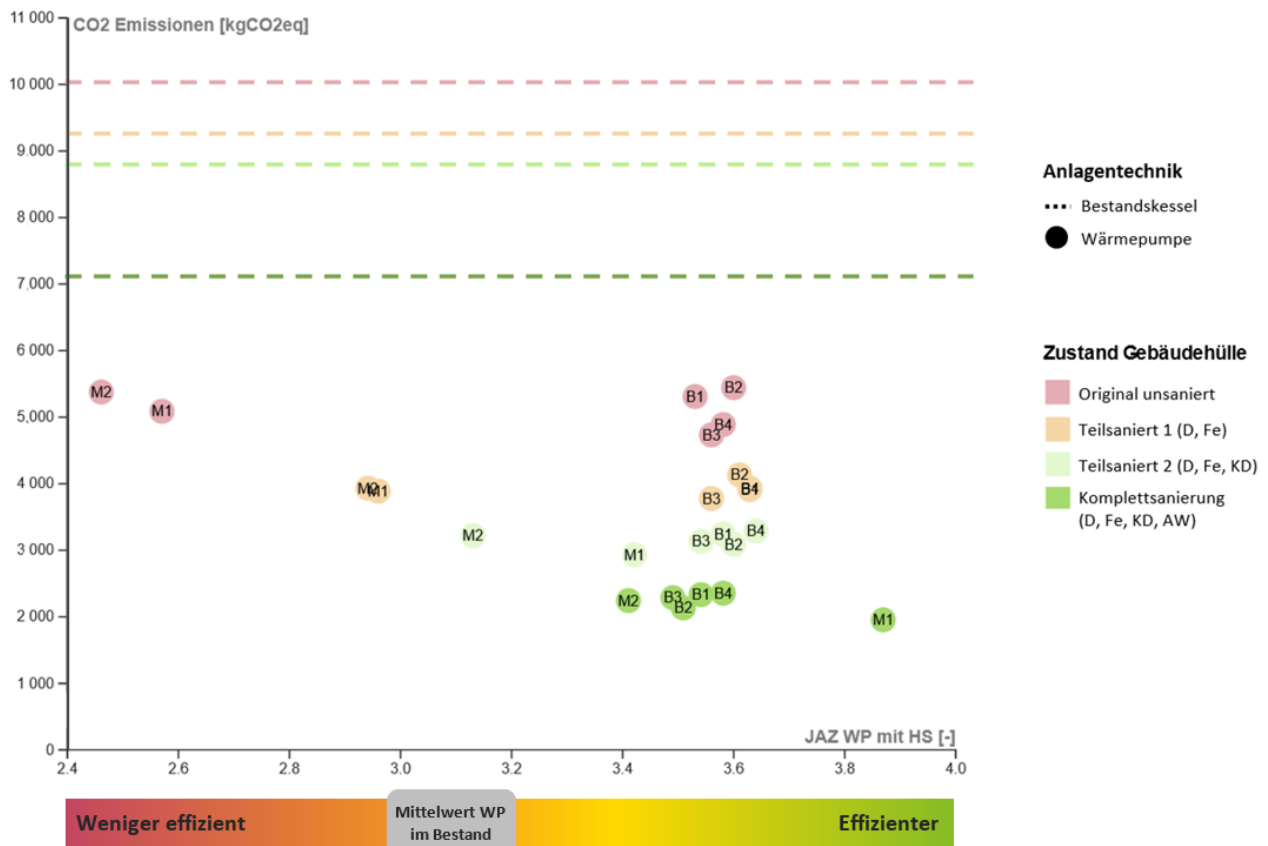
Der leichte Effizienzvorteil des Systems M1 gegenüber M2 lässt sich durch die thermodynamischen Vorteile getrennter Speicher erklären. Die separate Speicherung ermöglicht eine optimale Temperaturschichtung und vermeidet Mischverluste, die in Kombispeichern unvermeidlich auftreten. Zudem kann die Wärmepumpe bei getrennten Speichern die Temperaturniveaus für Heizung und Warmwasserbereitung bedarfsgerecht und damit effizienter bereitstellen.

Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass sowohl die Wahl der Betriebsart als auch die hydraulische Einbindung einen Einfluss auf die Systemeffizienz haben. Während bivalente Systeme eine konstant hohe Wärmepumpeneffizienz über alle Sanierungszustände garantieren, ermöglichen monoenergetische Systeme ab einem mittleren Sanierungsstand (TS2) einen effizienten Betrieb. Die Entscheidung zwischen diesen Optionen muss daher unter Berücksichtigung des aktuellen Gebäudezustands, der geplanten Sanierungsschritte und der Klimaschutzziele getroffen werden.

Treibhausgasemissionen

Die Analyse der Treibhausgasemissionen (THGE) zeigt wichtige Erkenntnisse für die Bewertung verschiedener Wärmepumpensysteme im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen. Bild 80 zeigt die jährlichen Emissionen der untersuchten Varianten, wobei Wärmepumpensysteme als Punkte und reine Kesselsysteme als gestrichelte Referenzlinien dargestellt sind.

Bild 80: THG-Emissionen und WP-Effizienz (JAZ_{WP+HS}) für unterschiedliche hydraulische Einbindungen und Dämmstandards



Zuerst wird der Einfluss des Wärmeerzeugers deutlich: Alle untersuchten Wärmepumpenvarianten - unabhängig davon, ob sie monoenergetisch oder bivalent betrieben werden - verursachen signifikant geringere Treibhausgasemissionen als vergleichbare reine Ölkesselsysteme. Selbst im ungünstigsten Fall, einem unsanierten Gebäude mit ineffizient arbeitender monoenergetischer Wärmepumpe, liegen die Emissionen deutlich unter denen des fossilen Referenzsystems.

Besonders bemerkenswert ist auch die Erkenntnis, dass der energetische Standard der Gebäudehülle einen größeren Einfluss auf die absoluten THGE hat als die spezifische Art der Wärmepumpeneinbindung oder der gewählte Betriebsmodus. Die im unsanierten Zustand als ineffizient eingestuft monoenergetischen Varianten M1 und M2 (mit JAZ_{WP+HS} -Werten unter 3,0) verursachen fast identische Emissionen wie die hocheffizienten bivalenten Varianten B1 bis B4 (mit JAZ_{WP+HS} -Werten über 3,5). Dies liegt an der Nutzung fossiler Brennstoffe im Spitzenlastkessel. Mit fortschreitender Gebäudesanierung zeigt sich ein differenzierteres Bild. Die Verbesserung des Dämmstandards durch Senkung der absoluten Energiebedarfe, führt bei allen Systemvarianten zu einer proportionalen Reduktion der Treibhausgasemissionen.

Diese Ergebnisse unterstreichen die fundamentale Bedeutung der Gebäudedämmung für den Klimaschutz. Sie zeigen auch, dass der Umstieg auf Wärmepumpentechnologie selbst bei schlechten Ausgangsbedingungen zu erheblichen Emissionsreduktionen führt. Die Entscheidung zwischen mono- und bivalenten Systemen sollte daher nicht nur anhand der aktuellen Effizienzwerte, sondern auch unter Berücksichtigung der geplanten Sanierungsschritte getroffen werden.

Dabei muss beachtet werden, dass die Emissionen in dieser Untersuchung auf Basis eines statischen Emissionsfaktors des Strommixes analog zum Gebäudeenergiegesetz (GEG) berechnet wurden, der sich weitgehend an der aktuellen Situation orientiert. Der Emissionsfaktor wurde zu 0,42 kg/kWh angenommen (äquivalente Treibhausgas-Emissionen der Stromerzeugung). Würde stattdessen ein zukünftiger Strommix

berücksichtigt, der die fortschreitende Dekarbonisierung in den kommenden Jahren, z. B. bis zum Jahr 2045, abbildet, würden die Wärmepumpen-Varianten noch vorteilhafter abschneiden. Eine genauere Betrachtung mit zeitlich hoch aufgelösten dynamischen Treibhausgasemissionen in einer zukünftigen Stromwirtschaft mit deutlich erhöhten Solar- und Windstromanteilen erfolgt in Kapitel 6.

Einfluss der Vorlauftemperatur

Um den Einfluss der maximalen Vorlauftemperatur auf die Effizienz zu untersuchen, wurde die Variante M1 mit unterschiedlichen Systemtemperaturen simuliert, bei festgelegtem Wärmeübergabesystem. Die Analyse zeigt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen der Absenkung der maximalen Vorlauftemperatur und der Steigerung der Jahresarbeitszahl, wobei die Stärke dieses Effekts vom Sanierungszustand abhängt.

Im Teilsanierungszustand TS2, führt jede Reduktion der Vorlauftemperatur um 5 Kelvin zu einer JAZ-Verbesserung von etwa 0,1 Punkten. Bei TS1, wenn nur Dach und Fenster saniert wurden, fällt der Effekt mit 0,07 JAZ-Punkten pro 5K etwas geringer aus.

Die praktische Bedeutung dieser Erkenntnisse wird an einem konkreten Beispiel deutlich: In einem TS1-Gebäude kann durch die Absenkung der Vorlauftemperatur von 60°C auf 46°C (eine Reduktion um 14K) die Jahresarbeitszahl von 2,89 auf 3,12 gesteigert werden. Dies entspricht einer Effizienzsteigerung von etwa 8% und bedeutet vor allem, dass die Schwelle von JAZ_{WP+HS} 3,1 für einen effizienten Betrieb überschritten wird. Das System wechselt damit von der Kategorie "ineffizient" in den Bereich "effizient".

Diese Temperaturabsenkung kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden:

- Austausch einzelner unterdimensionierter Heizkörper
- Ergänzung zusätzlicher Heizflächen in kritischen Räumen
- Ggf. Einsatz von Heizkörperventilator in kritischen Räumen oder bei Unterdimensionierung
- Installation von Niedertemperatur-Heizkörpern oder Gebläsekonvektoren
- Durchführung eines hydraulischen Abgleichs zur optimalen Wärmeverteilung

Die Untersuchung zeigt, dass auch ohne umfassende Gebäudesanierung Effizienzsteigerungen möglich sind. Die Optimierung der Wärmeübergabe stellt einen Hebel dar, um die Betriebskosten zu senken und die Umweltbilanz zu verbessern. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei der Umstellung auf Wärmepumpenbetrieb nicht nur die Wärmeerzeugung, sondern das gesamte Wärmeverteil- und Übergabesystem betrachtet und optimiert werden sollte.

Integration von Photovoltaik

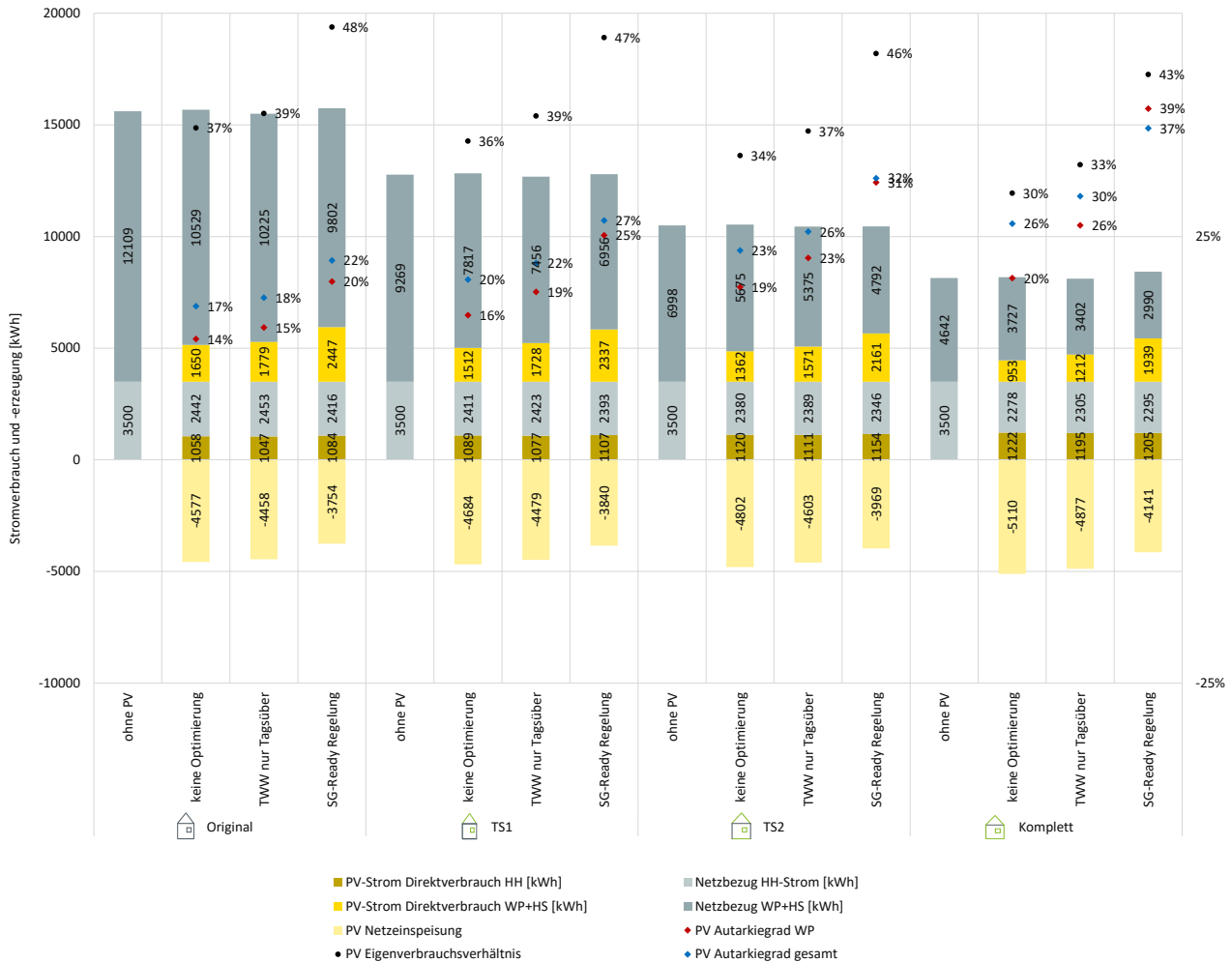
Die Kombination von Photovoltaikanlagen mit Wärmepumpen bietet ein hohes Potenzial zur Steigerung des Eigenverbrauchs und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Dabei spielt die Regelung der Wärmepumpe eine zentrale Rolle. Im Rahmen der Simulationen wurden drei Regelstrategien untersucht:

- **Keine Optimierung:** PV und Wärmepumpe funktionieren unabhängig voneinander.
- **TWW nur Tagsüber:** dabei findet die TWW-Bereitstellung nur zwischen 9 und 16 Uhr statt, was die Wahrscheinlichkeit für PV-Eigenverbrauch steigert.
- **Intelligente Regelung:** Solange der PV-Überschuss (PV-Leistung minus Haushaltsstrombedarf) unter einem bestimmten Schwellenwert liegt (2 kW beim Pufferspeicher, 3 kW beim TWW-Speicher), arbeitet die Wärmepumpe im Normalbetrieb. Wird der Schwellenwert überschritten, wird die Wärmepumpe im erhöhten Sollwert gefahren: Die Soll-Temperaturen im Puffer- und im TWW-Speicher werden angehoben.

Aus den Simulationen ergibt sich, dass die intelligente Regelung den höchsten PV-Direktverbrauch ermöglicht (Bild 81). Mit dieser Regelung verdoppelt sich fast der Autarkiegrad der Wärmepumpe vom unsanierten Zustand (20%) bis zur Vollsanierung (39%). Während eine einfache Tageszeitsteuerung der Warmwasser-

bereitung nur marginale Verbesserungen im Vergleich zu der nicht-optimierte Variante bringt, kann eine intelligente Regelung den Autarkiegrad um bis zu 19% steigern.

Bild 81: Auswirkungen der PV-Erzeugung auf dem Stromverbrauch und Effizienz der unterschiedlichen Regelungs-Varianten



Eine zusätzliche Untersuchung verschiedener PV-Anlagengrößen zeigt allerdings auch Grenzen auf: Eine Vergrößerung der Anlage über das Verhältnis von 1 kWp pro MWh Jahresstromverbrauch hinaus bringt nur noch eine geringe Erhöhung des Deckungs- bzw. Autarkiegrades. Weitere Details dazu sind im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023] zu finden.

Weitere Untersuchungsergebnisse

Ein weiterer Aspekt der Untersuchung war der Vergleich unterschiedlicher Wärmequellen für Wärmepumpensysteme. Dabei zeigte sich wie erwartet, dass Erdreich-Wärmepumpen gegenüber Außenluft-Wärmepumpen höhere Effizienzen erreichen. Besonders ausgeprägt ist dieser Vorteil bei unsanierten Gebäuden, in denen die JAZ_{WP+HS} der Erdreich-Wärmepumpe um etwa 24 % höher lag als bei der Luft-Wärmepumpe (JAZ_{WP+HS} von 3,19 gegenüber 2,57). Dieser Effizienzgewinn macht Erdreich-Wärmepumpen zu einer besonders attraktiven Option, nicht nur für gut gedämmte, sondern auch für unsanierte Gebäude. Voraussetzung ist allerdings, dass die Erschließung der Wärmequelle technisch und rechtlich möglich ist, was insbesondere in dicht bebauten Gebieten oder bei kleinen Grundstücken herausfordernd sein kann.

Ein weiterer Untersuchungspunkt war die Größe der thermischen Speicher bei PV-Nutzung mit intelligenter Regelung. Hier wurde analysiert, welchen Einfluss unterschiedliche Speichervolumina zwischen 300 und 1200 Liter auf den Strombezug aus dem elektrischen Netz und den Autarkiegrad der Wärmepumpe haben. Die Ergebnisse zeigen, dass größere Speicher zwar grundsätzlich die Möglichkeit bieten mehr PV-Strom thermisch zu speichern, der tatsächliche Effekt auf den Autarkiegrad jedoch relativ gering bleibt. Selbst bei einer Verdopplung des Speichervolumens konnten nur Verbesserungen des Autarkiegrads im Bereich von 4 bis 6 % erzielt werden. Das bedeutet, dass im untersuchten Bereich die Speichergröße nur einen kleinen Hebel für die Optimierung des Eigenverbrauchs ist.

Auch die Nachtabsenkung der Raumtemperatur wurde hinsichtlich ihres Effizienzpotenzials untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine moderate Absenkung der Solltemperatur in der Nacht zu messbaren Effizienzgewinnen führen kann. Im teilsanierten Zustand (TS1) war eine Absenkung um 2 K optimal (+0,19 JAZ-Punkte), während im vollständig sanierten Gebäude bereits 1 K ausreichte, um den höchsten Effizienzgewinn zu erzielen (+0,15 JAZ-Punkte). Weitere Absenkungen führten hingegen kaum noch zu zusätzlichen Einsparungen, was auf die begrenzte thermische Trägheit der Gebäude und die damit verbundenen Komfortgrenzen hinweist.

Insgesamt unterstreichen diese Ergebnisse, dass sowohl die Wahl der Wärmequelle als auch die Regelstrategie und die Speichertechnik einen wichtigen Einfluss auf die Effizienz und die Klimawirkung von Wärmepumpensystemen haben, allerdings mit sehr unterschiedlicher Hebelwirkung.

Innovative Sanierungsstrategien und dynamische Betrachtung der Sanierungsschritten

Im Folgenden sollen praxisnahe Sanierungspfade von Wärmepumpeneinbau und Sanierung der Gebäudehülle untersucht werden. Sie sollen aufzeigen, wie sich unterschiedliche zeitliche Reihenfolgen von Maßnahmen auf die THG-Emissionen eines Gebäudes auswirken können. Es wurden drei exemplarische Szenarien gegenübergestellt, die unterschiedliche Strategien zur Kombination von Wärmepumpeneinsatz und Gebäudesanierung illustrieren (Bild 82).

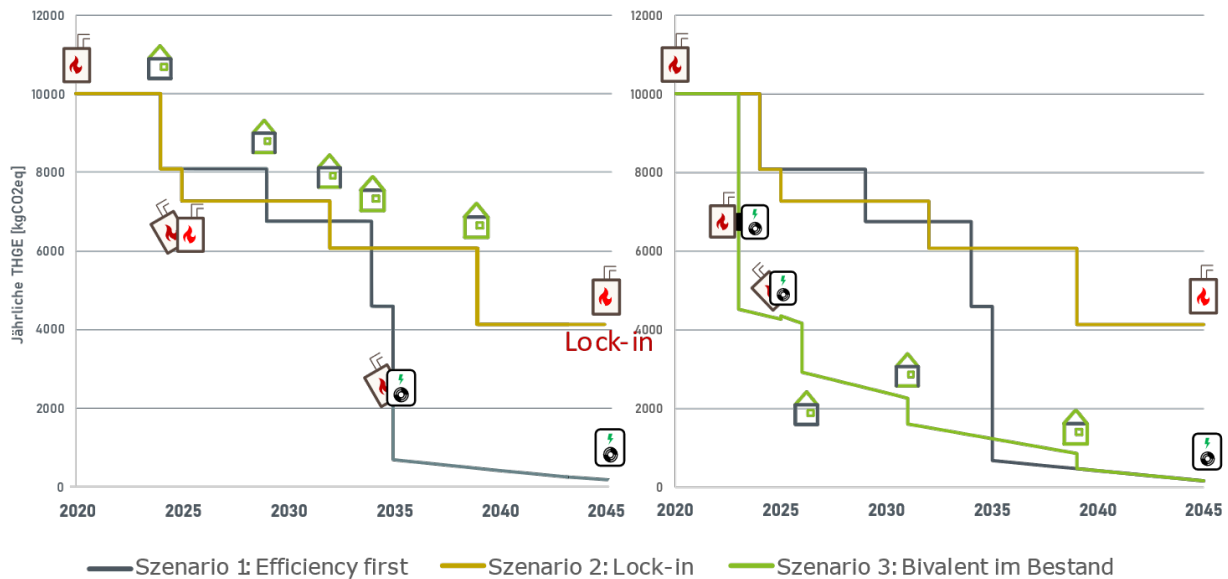
Im klassischen „Efficiency First“-Ansatz (Szenario 1) wird zuerst die Gebäudehülle schrittweise saniert, durch Dämmung von Dach, Kellerdecke und Außenwänden sowie den Austausch der Fenster. Erst wenn das Gebäude vollständig modernisiert ist, wird die alte fossile Heizung durch eine Wärmepumpe ersetzt. In der Modellrechnung erfolgt dieser Heizungstausch im Jahr 2035. Diese Strategie ist aus technischer Sicht optimal, da die Wärmepumpe unter idealen Bedingungen (niedrige Vorlauftemperatur) betrieben werden kann. Sie birgt jedoch ein Risiko: Wenn die bestehende fossile Heizung vor Ende der Sanierung ausfällt, kann es zu einem sogenannten Lock-in-Effekt kommen (d. h. der erneuerte Kessel wird länger genutzt, da er noch nicht abgeschrieben ist).

Ein solches Risiko wird im Szenario 2 deutlich. Hier fällt der alte Ölkessel schon 2025 aus und wird durch einen neuen fossilen Brennwertkessel ersetzt. Obwohl die Sanierung der Gebäudehülle wie geplant fortgesetzt wird, bleiben die THG-Emissionen über einen langen Zeitraum auf hohem Niveau, in der Regel für die gesamte Lebensdauer des neuen Kessels, also z. B. 20 Jahre. Damit wird die Chance auf eine frühzeitige Dekarbonisierung verpasst.

Szenario 3 zeigt einen alternativen, flexibleren Weg: Der Einbau einer Wärmepumpe erfolgt bereits frühzeitig, noch bevor die Gebäudehülle vollständig saniert ist, und sie wird bivalent mit dem Bestandskessel eingebaut. Die Wärmepumpe übernimmt dabei den Großteil der Heizlast, während der bestehende fossile Kessel nur noch als Spitzenlastgerät arbeitet. Dadurch lassen sich die Emissionen sofort deutlich reduzieren (im Modell um ca. 50 %). Die energetische Sanierung der Gebäudehülle kann dann schrittweise und ohne Zeitdruck erfolgen. Sollte der alte Kessel später ausfallen, kann die Wärmepumpe in den monoenergetischen Betrieb übergehen. Dieser Ansatz vermeidet Lock-in-Effekte und bietet Hauseigentümerinnen und -eigenthümern die Möglichkeit, Investitionen flexibel an ihre finanziellen und organisatorischen Rahmenbedingungen anzupassen.

Die Untersuchung zeigt damit, dass ein frühzeitiger, strategisch eingebetteter Wärmepumpeneinsatz auch in unsanierten oder teilsanierten Gebäuden sinnvoll sein kann, insbesondere dann, wenn er Teil eines langfristigen Sanierungsfahrplans ist.

Bild 82: Beispielhafte Sanierungsstrategien und die daraus folgenden THG-Emissionen im Laufe der Zeit⁹



4.1.2 Mehrfamilienhaus

Untersuchungsrahmen

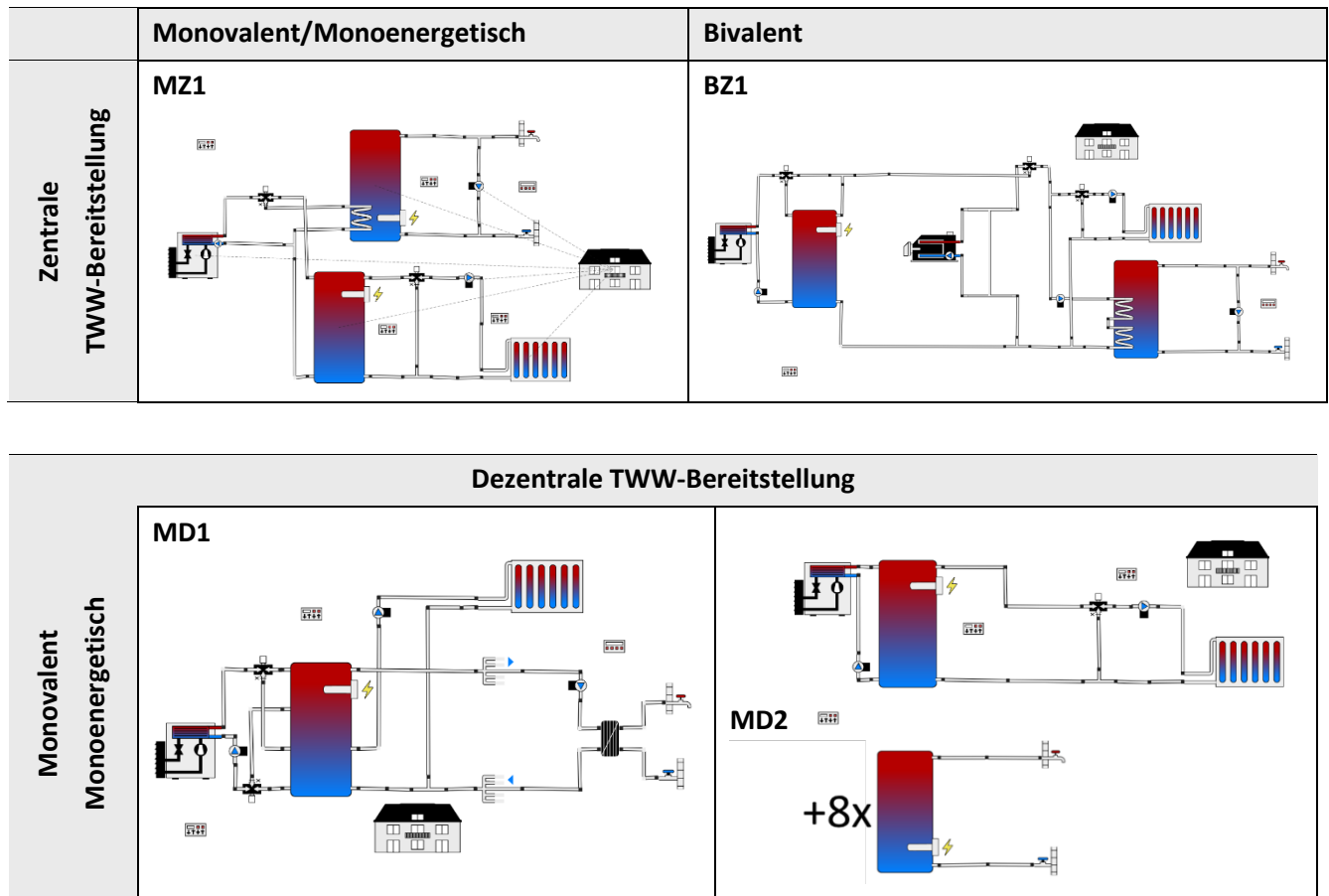
Untersucht wurde ein typisches Mehrfamilienhaus der 1960er Jahren mit 8 Wohneinheiten über 4 Etagen, 603 m² beheizter Wohnfläche und 21 Bewohnern. Eine besondere Herausforderung bei Mehrfamilienhäusern liegt in der Warmwasserbereitung, die aufgrund hygienischer Anforderungen (DVGW W551) bei Großanlagen 60°C am Speicheraustritt erfordert. Dies beeinflusst maßgeblich die Effizienz von Wärmepumpensystemen.

Vergleich der Versorgungskonzepte

Bild 83 stellt die unterschiedlichen hydraulischen Konzepte dar, die im Rahmen der Untersuchung für das MFH-Modell analysiert wurden. Dabei wurde zwischen monovalenten/monoenergetischen Systemen (Kennzeichnung „M“) und bivalenten Systemen mit Ölkessel („B“) unterschieden. Zusätzlich erfolgte eine Differenzierung hinsichtlich der zentralen („Z“) und dezentralen („D“) Trinkwarmwasserbereitung. Eine ausführliche Beschreibung der jeweiligen hydraulischen Varianten, einschließlich der Regelstrategien sowie ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile, befindet sich im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023].

⁹ Anders als im Zwischenbericht [Großklos et al. 2023] wurden für diese Grafik ambitioniertere, BEG-taugliche Sanierungsmaßnahmen für die Dämmung der Gebäudehülle verwendet. Trotz dieses Unterschieds bleiben die Schlussfolgerungen der Untersuchung unverändert.

Bild 83: Hydraulik-Varianten für das MFH-Modell (M=monoenergetisch/monovalent, B=bivalent, Z=zentral, D=dezentral)



Die betrachtete Wärmepumpe weist eine Heizleistung von 30,6 kW bei A2/W35 auf und erreicht dabei einen COP von 3,8. Bei einer Vorlauftemperatur von 55 °C und einer Außentemperatur von 7 °C sinkt der COP auf 3,0.

Die Untersuchung verschiedener hydraulischer Konzepte zeigt deutliche Unterschiede in Effizienz und Emissionen (siehe Bild 84).

Zentrale Warmwasserbereitung

BZ1 (bivalent mit zentraler TWW): Diese Variante erreicht über alle Sanierungszustände konstant hohe Jahresarbeitszahlen um 3,0. Die Effizienz bleibt auch bei schlechtem Dämmstandard stabil. Durch den Anteil fossiler Energieträger trägt diese Variante jedoch zu hohen Treibhausgasemissionen bei, wie im nächsten Abschnitt erläutert wird.

MZ1 (monoenergetisch mit zentraler TWW): Bei dieser Variante zeigt sich eine starke Abhängigkeit vom Dämmstandard. Im unsanierten Zustand werden nur JAZ_{WP+HS} -Werte von 2,68 erreicht, die erst bei Vollsaniierung auf 3,08 ansteigen.

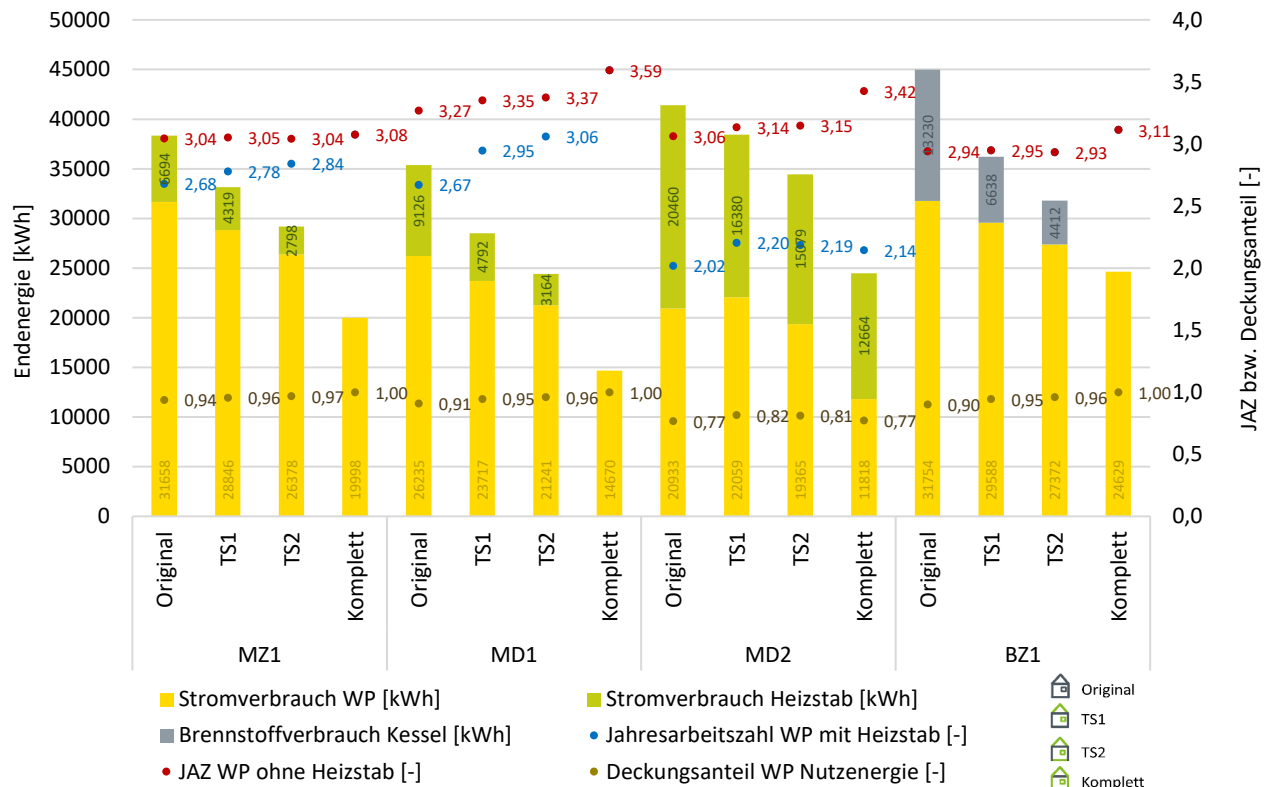
Dezentrale Warmwasserbereitung

MD1 (mit Frischwasserstationen): Diese Variante zeigt die besten Ergebnisse. Durch die dezentralen Frischwasserstationen in den Wohnungen können die TWW-Temperaturen auf 50 °C reduziert werden. Die

JAZ_{WP+HS} steigt von 2,67 im unsanierten Zustand auf 3,59 bei Vollsaniierung. Bereits ab Teilsanierungszustand TS2 (Dach, Fenster, Kellerdecke) erreicht das System effiziente JAZ-Werte über 3,0.

MD2 (mit Elektro-Boilern): Die direkt-elektrische Warmwasserbereitung in den Wohnungen führt zu sehr niedrigen System-Jahresarbeitszahlen zwischen 2,02 und 2,19. Trotz der dezentralen Lösung ohne Zirkulationsverluste überwiegen die Nachteile der ineffizienten Direktheizung.

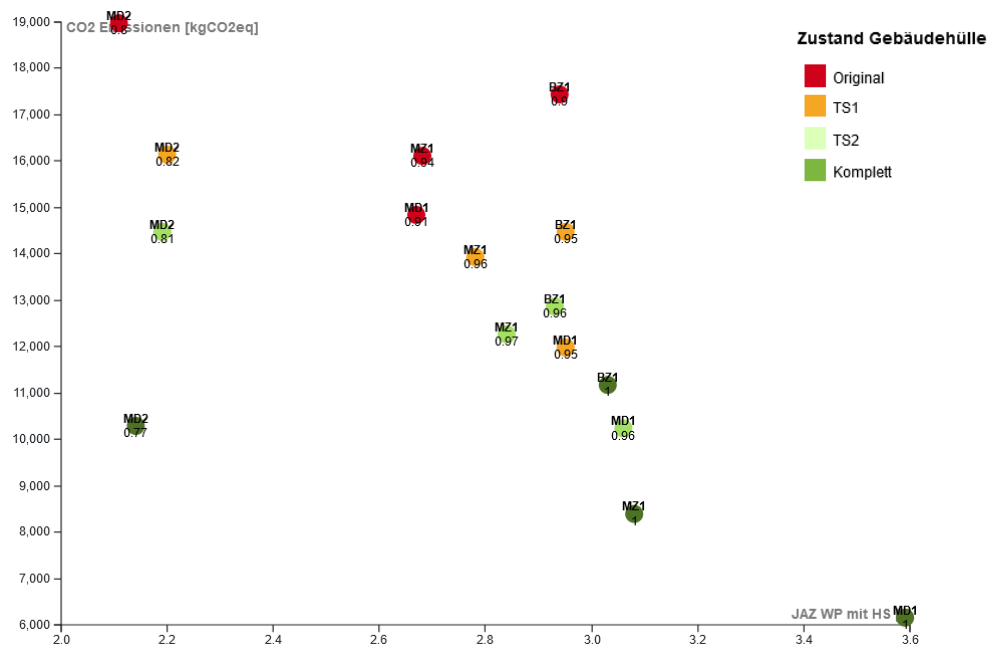
Bild 84: Endenergie und JAZ im MFH-Modell für verschiedene Sanierungszustände und Hydrauliken (M=monoenergetisch/monovalent, B=bivalent, Z=zentral, D=dezentral)



Treibhausgasemissionen

Eine ökologische Bewertung der Ergebnisse wurde anhand der jährlichen Treibhausgas-Emissionen durchgeführt. Dabei wurde ein konstanter Emissionsfaktor von $420 \text{ g}_{\text{CO}_2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{Strom}}$ angewendet. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Bild 85 zu finden:

Bild 85: Jährliche Treibhausgas-Emissionen und JAZ_{WP+HS} im MFH-Modell für verschiedene Sanierungszustände und Hydrauliken (M=monoenergetisch/monovalent, B=bivalent, Z=zentral, D=dezentral)



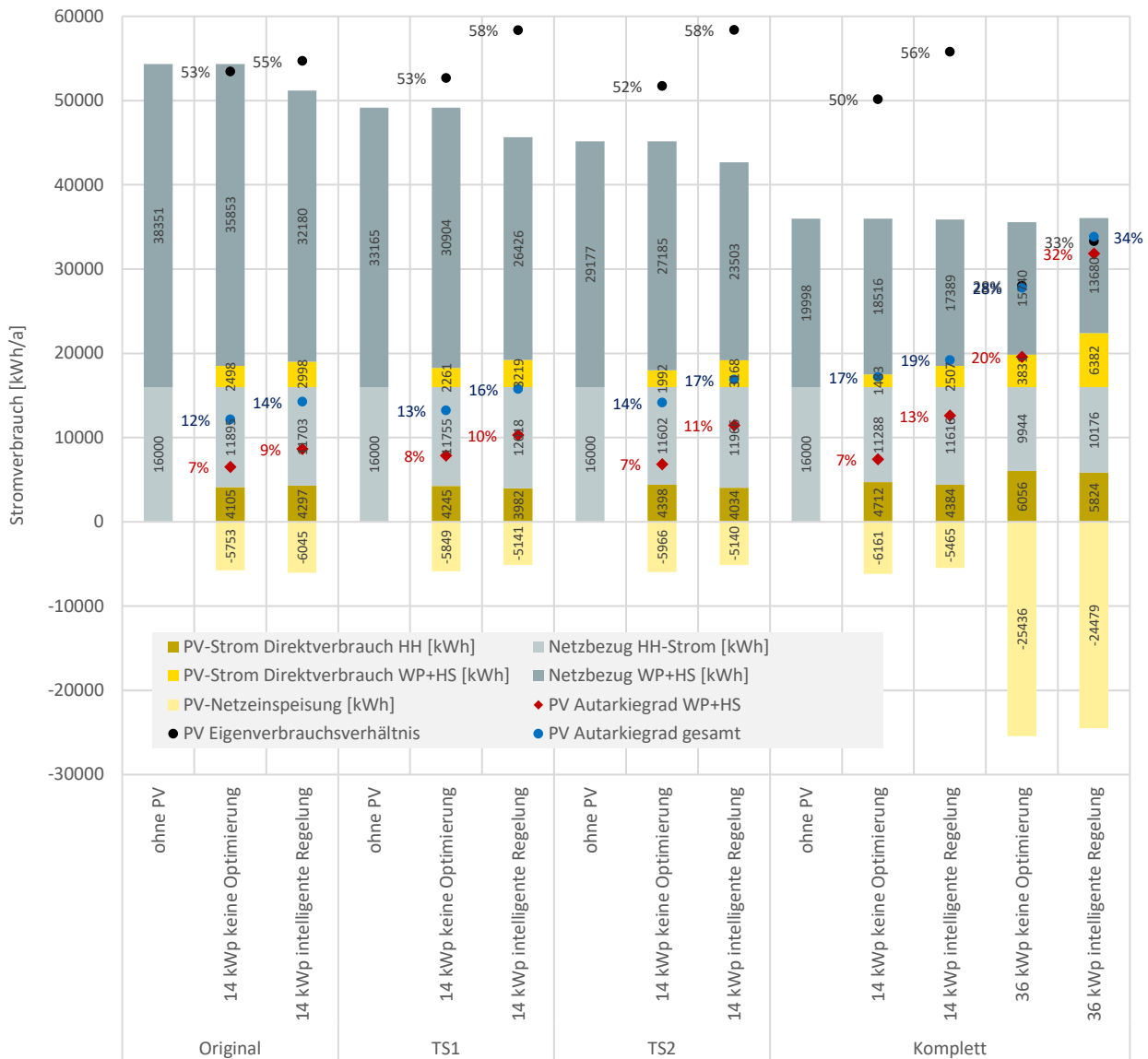
Die Variante MD1 mit Frischwasserstationen erreicht durchgehend die niedrigsten Emissionen. Im Vergleich zur fossilen Referenz werden bereits im unsanierten Zustand erhebliche Einsparungen erzielt. Die bivalente Variante BZ1 zeigt ebenfalls gute Werte und bietet sich als robuste Lösung für alle Sanierungszustände an.

System MZ1 benötigt einen besseren Dämmstandard für vergleichbare Emissionsreduktionen, während MD2 aufgrund des hohen Stromverbrauchs durchgehend die höchsten Emissionen unter den Wärmepumpensystemen aufweist. MD2 ist daher nicht empfehlenswert. Ein emissionsärmerer Strommix oder eine Kombination mit PV könnte aber die Emissionen von MD2 – aber auch der anderen Hydraulikvarianten – senken.

Integration von Photovoltaik

Die PV-Integration beim MFH zeigt deutliche Unterschiede zum Einfamilienhaus (Bild 86):

Bild 86: PV-Erzeugung und Stromverbrauch der MZ1-Variante für das MFH-Modell mit unterschiedlichen PV-Regelungen in unterschiedlichen Sanierungszustände



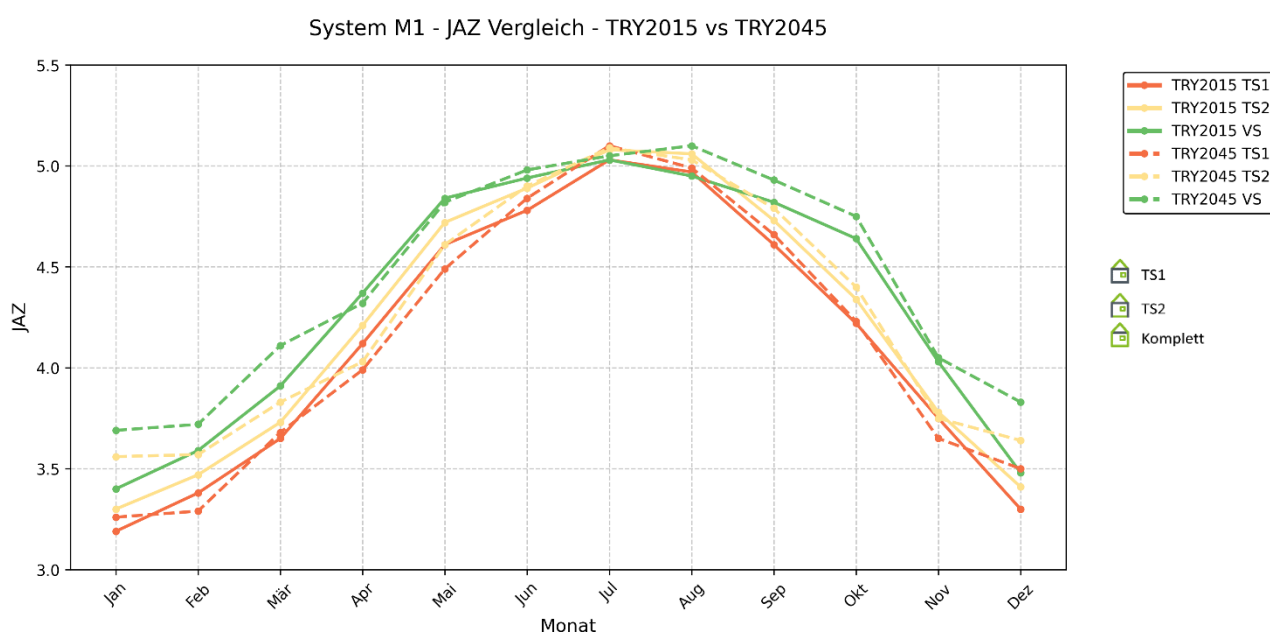
Bei einer typischen 14 kWp-Anlage werden nur Autarkiegrade von 7 - 13% für die Wärmepumpe erreicht - deutlich weniger als beim EFH. Dies liegt an der begrenzten Dachfläche relativ zur Wohnfläche (23 Wp/m² beim MFH vs. 58 Wp/m² beim EFH), den hohen TWW-Temperaturen von 60 °C, die den Spielraum für intelligente Temperaturerhöhungen begrenzen sowie dem kontinuierlichen Warmwasserbedarf über 21 Bewohner. Die intelligente Regelung bringt beim MFH nur geringe Verbesserungen von maximal 6 Prozentpunkten beim Autarkiegrad, während beim EFH bis zu 19 Prozentpunkte möglich sind. Erst mit einer hypothetischen, überdimensionierten 36 kWp-Anlage können Autarkiegrade von 32 % erreicht werden, was jedoch die verfügbare Dachfläche überschreitet.

4.2 Erweiterung um zusätzliche Aspekte

4.2.1 Klimadaten

Um die Zukunftsfähigkeit der untersuchten Wärmepumpensysteme zu bewerten, wurde eine ergänzende Analyse zum Einfluss des Klimawandels durchgeführt. Das monoenergetische System M1 (getrennte Puffer- und Trinkwasserspeicher) wurde dabei mit zwei unterschiedlichen Testreferenzjahren simuliert: TRY2015 repräsentiert die aktuellen klimatischen Bedingungen, während TRY2045 die prognostizierten Klimaverhältnisse in etwa 20 Jahren abbildet. Die Simulationsergebnisse (Bild 87) zeigen einen positiven Einfluss der erwarteten Klimaerwärmung auf die Wärmepumpeneffizienz. Besonders in den Übergangszeiten (Frühjahr und Herbst) sowie während der Wintermonate profitiert die Wärmepumpe von den milderen Außentemperaturen, was sich in verbesserten monatlichen Arbeitszahlen niederschlägt.

Bild 87: Jahresarbeitszahlen bei unterschiedlichen Klimaszenarien und Sanierungszustände



Jahresdurchschnitt

Sanierungszustand	JAZ mit TRY2015	JAZ mit TRY2045	Relative Änderung
TS1 (Dach, Fenster)	3,68	3,71	+0,8 %
TS2 (+ Kellerdecke)	3,73	3,85	+3,2 %
Komplettsanierung	3,85	4,05	+5,2 %

Die Analyse zeigt einen interessanten Zusammenhang: Je besser der energetische Standard des Gebäudes, desto stärker wirken sich die veränderten Klimabedingungen auf die Systemeffizienz aus.

Während die absoluten Effizienzgewinne mit +0,8 % bis +5,2 % moderat erscheinen, unterstreichen sie die Robustheit der Wärmepumpentechnologie gegenüber den erwarteten klimatischen Veränderungen. Für die Praxis bedeutet dies, dass heute installierte Wärmepumpen unter zukünftigen Klimabedingungen tendenziell effizienter arbeiten können. Bei der Anlagendimensionierung sollte dieser Effekt jedoch nicht überbewertet werden, da die Auslegung weiterhin auf Basis der aktuellen Normaußentemperaturen erfolgen soll, um auch in extremen Kälteperioden, die auch zukünftig nicht auszuschließen sind, ausreichende Heizleistung sicherzustellen.

4.2.2 Kältemittel

Bei der ganzheitlichen ökologischen Bewertung von Wärmepumpensystemen spielt die Wahl des Kältemittels eine wichtige Rolle. Kältemittel können sowohl während des Betriebs durch Leckagen als auch bei der Erstbefüllung, Wartung und späteren Entsorgung erhebliche THG-Emissionen verursachen. Diese „grauen“ Emissionen sollen hier zusätzlich zu den Emissionen der Betriebsphase (durch den Stromverbrauch) berücksichtigt werden, um die Wirkung einer Wärmepumpe ganzheitlich zu bewerten.

Das Treibhauspotenzial von Kältemitteln wird als GWP-Wert („Global Warming Potential“) angegeben und beschreibt die Klimawirksamkeit im Vergleich zu CO₂ über einen Zeitraum von 100 Jahren. Tabelle 16 gibt einen Überblick über die wichtigsten Kältemittel im Wärmepumpenmarkt:

Tabelle 16: Eigenschaften gängiger Kältemittel, sowie Sicherheitsklassifizierung (vom Bundesverband Wärmepumpe [BWP 2024b])

Kältemittel	GWP	Kategorie	Sicherheitsklassen
R-134a	1.430	High GWP	A1
R-407C	1.774	High GWP	A1
R-410A	2.088	High GWP	A1
R-404A	3.922	Very High GWP	A1
R-32	675	Low GWP	A2L
R-290 (Propan)	3	Super Low GWP	A3
R-454B*	460	Low GWP	A2L
R-454C*	148	Super Low GWP	A2L
R-717 (Ammoniak)	0	Super Low GWP	B2
R-744 (CO ₂)	1	Super Low GWP	A1

Sicherheitsgruppen Kältemittel

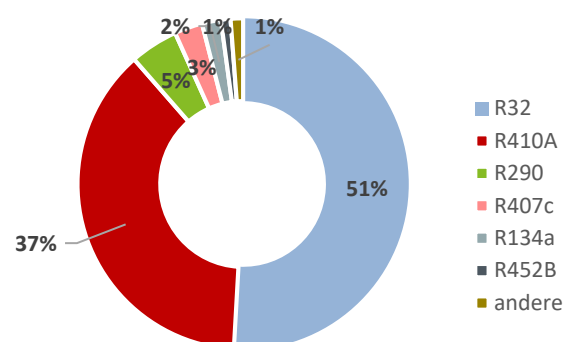
A3	B3	hoch entflammbar
A2	B2	entflammbar
A2L	B2L	schwer entflammbar
A1	B1	keine Flammenausbreitung
geringe Toxizität	erhöhte Toxizität	

bwp Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Die Sicherheitsklassifizierung folgt dem internationalen Standard ISO 817, wobei der Buchstabe die Toxizität (A = geringe Toxizität, B = erhöhte Toxizität) und die Ziffer die Entflammbarkeit angibt (1 = nicht entflammbar, 2L = schwer entflammbar, 2 = entflammbar, 3 = hoch entflammbar).

Die Auswertung der hplib-Datenbank [FZJ 2023] vom Forschungszentrum Jülich mit 12.858 Wärmepumpenmodellen zeigt die aktuelle Marktverteilung der Kältemittel:

Bild 88: Häufigkeit der verwendete Kältemitteln in allen Wärmepumpen der hplib Datenbank, n=12858



Die Analyse in Bild 88 zeigt, dass R32 und R410A zusammen den Großteil des Marktes dominieren. Diese Dominanz erklärt sich aus der langjährigen Verfügbarkeit, den etablierten Produktionsverfahren und der vorhandenen Expertise bei Herstellern und Installateuren. Das besonders klimafreundliche R-290 hat nur einen sehr geringen Anteil von 5 %. Langfristig soll aber ein Übergang zu natürlichen Kältemitteln oder synthetischen Alternativen mit sehr niedrigem GWP stattfinden. Die europäische F-Gas-Verordnung setzt nämlich klare Grenzwerte für die Verwendung von Kältemitteln mit hohem Treibhauspotenzial. Ab 2025 dürfen

beispielsweise in Split-Klimageräten und Wärmepumpen bis 3 kg Füllmenge nur noch Kältemittel mit einem GWP unter 750 eingesetzt werden. Damit wäre der Einsatz von R410A in neuen Geräten nicht mehr zulässig, was den zunehmenden Umstieg auf klimafreundlichere Kältemittel erklärt. Klimafreundliche Kältemitteln umfassen:

- R290 (Propan): Mit einem GWP von nur 3 ist es sehr klimafreundlich, aber aufgrund der Brennbarkeit (Klasse A3) mit erhöhten Sicherheitsanforderungen verbunden
- R744 (CO₂): Klimaneutral (GWP = 1), aber technisch anspruchsvoll aufgrund der hohen Betriebsdrücke
- R454C und andere: Neue synthetische Kältemittel mit GWP-Werten unter 150, die einen Kompromiss zwischen Klimaverträglichkeit und technischer Handhabbarkeit darstellen

Bei der Auswahl einer Wärmepumpe sollten neben der Energieeffizienz auch die „grauen“, Kältemittelbedingten Emissionen berücksichtigt werden. Eine vereinfachte Abschätzung zeigt: Bei einer typischen Wärmepumpe mit 3 kg R410A-Füllung und einer angenommenen Leckagerate von 3 % pro Jahr plus Entsorgungsverluste von 49 % entstehen über 20 Jahre Betriebszeit zusätzliche Emissionen von etwa 6.828 kg CO₂-Äquivalent (oder 341 kg/Jahr). Bei R32 reduziert sich dieser Wert auf etwa 2.207 kg (oder 110 kg/Jahr), bei Propan sind diese vernachlässigbar. Beim simulierten EFH-Modellgebäude liegen die betriebsbedingten Emissionen durch Strom- und Brennstoffverbrauch je nach Sanierungszustand bei etwa 2.000 bis 5.500 kg CO₂-Äquivalent pro Jahr (siehe Bild 80). Beim vollständig sanierten EFH würde der Anteil der grauen Emissionen durch Kältemittelleckagen an den Gesamtemissionen (Betrieb + „grau“) bereits ca. 17 % bei Verwendung von R410A und etwa 6 % bei R32 betragen, was einen nicht-vernachlässigbaren Anteil darstellt. Für die in dieses Kapitel präsentierten Simulationen wurde diese zusätzliche Klimawirkung durch Kältemittelverluste nicht explizit berücksichtigt, da sie die grundsätzlichen Erkenntnisse zur optimalen Systemauslegung und Betriebsweise nicht verändert. Aber bei einer vollständigen Ökobilanzierung sollten diese direkten Emissionen einbezogen werden.

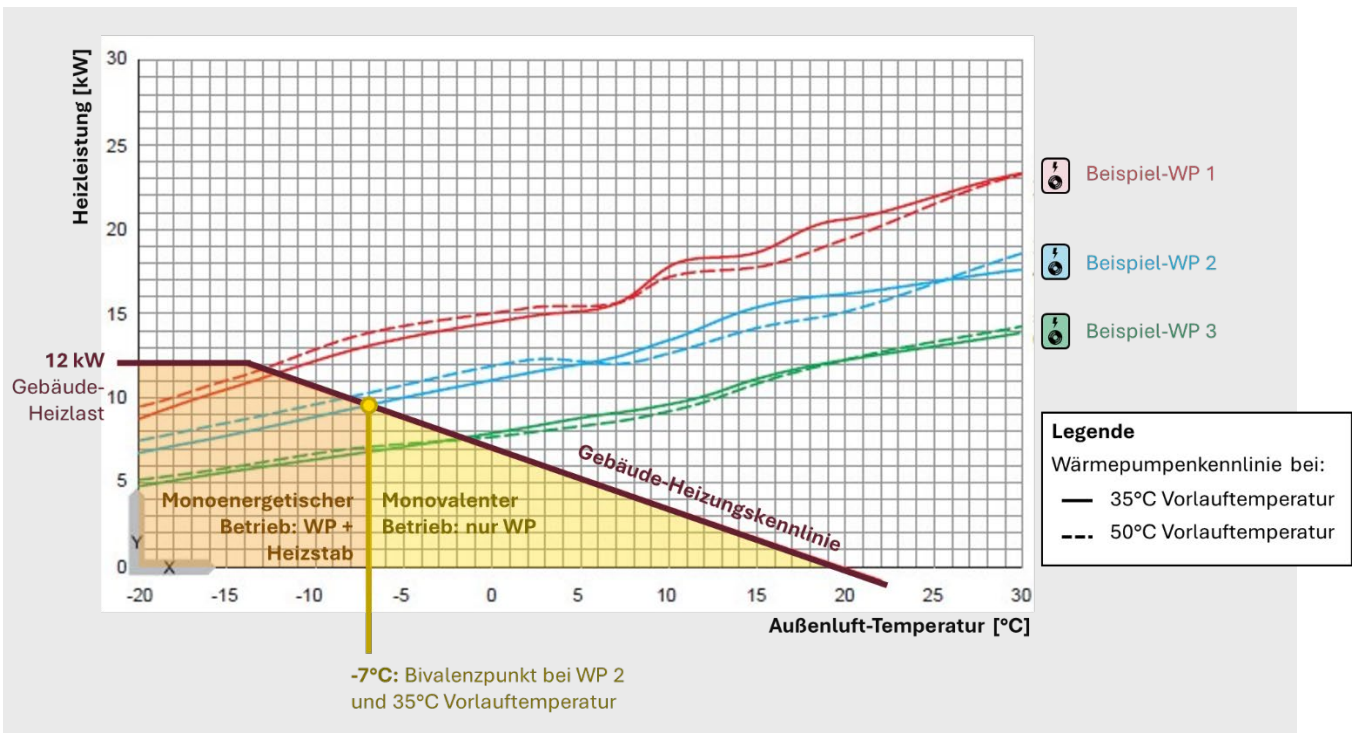
4.2.3 Dimensionierung der Wärmepumpen

Die Dimensionierung von Luft-Wasser-Wärmepumpen folgt einem etablierten Verfahren, das in den Planungshandbüchern der Hersteller detailliert beschrieben wird¹⁰. Bei nicht-modulierenden Wärmepumpen mit konstanter Wärmeleistung erfolgt die Auslegung in mehreren Schritten. Zuerst wird die Heizlast des Gebäudes bei der Norm-Auslegungstemperatur nach DIN 12831 berechnet. Die Auslegungsaußentemperatur basiert auf den kältesten Zweitagesmittelwerten, die im langjährigen Mittel mindestens einmal innerhalb von 20 Jahren auftreten. Diese wird anschließend in ein Leistungsdiagramm eingetragen, wobei die Wärmeleistung auf der y-Achse und die Außenlufttemperatur auf der x-Achse dargestellt werden (siehe Bild 89). In dasselbe Diagramm werden die Leistungskurven verfügbarer Wärmepumpenmodelle dargestellt. In der Grafik werden die Leistungskennlinien von 3 beispielhaften Wärmepumpen dargestellt, jeweils für zwei Vorlauftemperaturen: 35°C und 50°C. Da selten eine Wärmepumpe exakt die berechnete Gebäudeheizlast abdeckt, empfiehlt sich bei monoenergetischen Systemen die Wahl des nächstkleineren Modells. In diesem Fall deckt die Wärmepumpe die Heizlast nur bis zu einer bestimmte Außentemperatur (Bivalenzpunkt). Wenn die Außentemperatur unterhalb des Bivalenzpunktes sinkt, reicht die Wärmepumpenleistung nicht mehr, um das Gebäude zu versorgen. Die verbleibende Heizlast wird dann über einen elektrischen Heizstab gedeckt. Bei bivalenten Systemen mit Kesseln erfolgt die Auslegung nach ähnlichen Prinzipien.

¹⁰ Planungshandbuch Stiebel Eltron: <https://www.heinze.de/m2/71/62871/pdf/19/21280019px595x842.pdf>

Planungshandbuch Viessmann: https://community.viessmann.de/viessmann/attachments/viessmann/customers-heatpump-hybrid/16971/1/pr-planungshandbuch_waermepumpen.pdf

Bild 89: Beispiel-Auslegung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe (angepasst auf Basis Stiebel Eltron Planungshandbuch)



Gemäß DIN EN 15450 sollte der Deckungsanteil des Heizstabs „auf ein Mindestmaß“ reduziert werden, konkret „unter 5%“. Die DIN 4701 liefert dafür Orientierungswerte (siehe Tabelle 17): Bei bivalent-parallellem bzw. monoenergetisch-parallellem Betrieb wird dieser Zielwert bei einem Bivalenzpunkt von maximal -2°C erreicht.

Tabelle 17: Deckungsanteil der Wärmepumpe in Abhängigkeit vom Bivalenzpunkt, Leistungsanteil und Betriebsweise der Wärmepumpe, aus DIN 4701. In Rot ist der Bereich markiert, in denen der Deckungsanteil der Wärmepumpe mindestens 95% beträgt

Bivalenzpunkt ϑ_{bi} [°C]	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3
Leistungsanteil μ [-]	0,77	0,73	0,69	0,65	0,62	0,58	0,54	0,50
Deckungsanteil $\alpha_{H,a}$ [-] bei biv.-paral. Betrieb	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96
Deckungsanteil $\alpha_{H,a}$ [-] bei biv.-altern. Betrieb	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,91	0,87	0,83

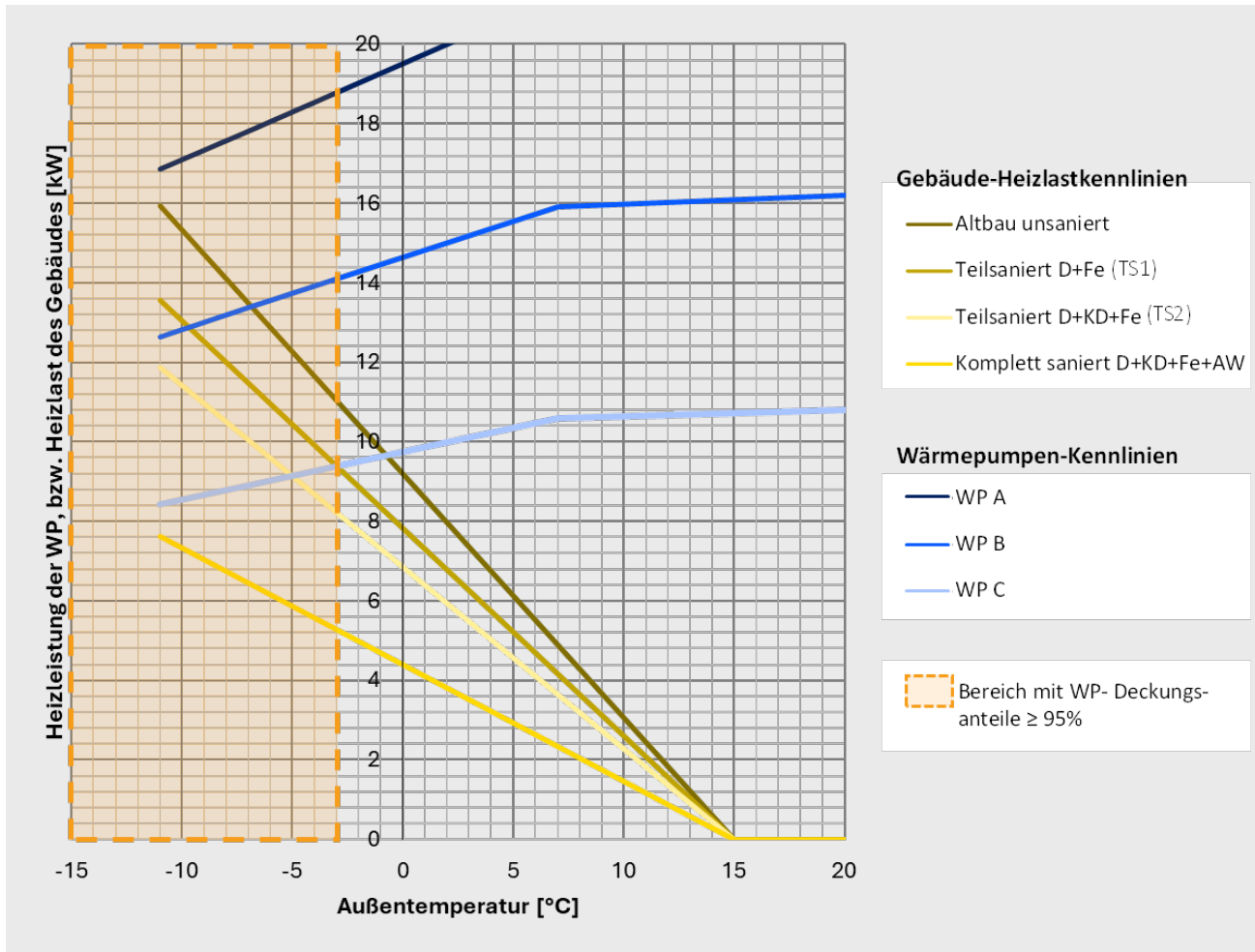
Bivalenzpunkt ϑ_{bi} [°C]	-2	-1	0	1	2	3	4	5
Leistungsanteil μ [-]	0,46	0,42	0,38	0,35	0,31	0,27	0,23	0,19
Deckungsanteil $\alpha_{H,a}$ [-] bei biv.-paral. Betrieb	0,95	0,93	0,90	0,87	0,83	0,77	0,70	0,61
Deckungsanteil $\alpha_{H,a}$ [-] bei biv.-altern. Betrieb	0,78	0,71	0,64	0,55	0,46	0,37	0,28	0,19

Besondere Herausforderungen bei Bestandsgebäuden

Die Dimensionierung von Wärmepumpen in Bestandsgebäuden unterscheidet sich fundamental von der Auslegung für Neubauten. Die zentrale Fragestellung lautet: Soll die Wärmepumpe auf den aktuellen, unsanierten Zustand oder auf den zukünftigen Zielstandard nach einer geplanten Sanierung ausgelegt werden? Bild 90 veranschaulicht diese Problematik anhand der Heizlastkennlinien eines Beispielgebäudes in vier Sanierungszuständen sowie den Leistungskennlinien von drei Wärmepumpenmodelle (WP A (20 kW), B (16 kW)

und C (12 kW)). Der orange markierte Bereich kennzeichnet Außentemperaturen unter -3°C , bei denen nach DIN 4701 Deckungsanteile über 95% erreicht werden. Um einen normgerechten Betrieb sicherzustellen, sollte sich der Bivalenzpunkt (der Schnittpunkt zwischen der Gebäude-Heizlastkennlinie und der Kennlinie der Wärmepumpe) im orangenen Bereich befinden.

Bild 90: Wärmepumpen-Kennlinien und Gebäudeheizlastkennlinien für ein EFH-Beispielgebäude in vier Sanierungszustände, und mit drei beispielhaften Wärmepumpen (A, B, C)



Die Analyse zeigt:

- WP A kann im Originalzustand monovalent arbeiten, wäre aber nach Vollsanierung deutlich überdimensioniert.
- WP B arbeitet im Original- und TS1-Zustand monoenergetisch, ab TS2 monovalent
- WP C erreicht nur im vollsanierten Zustand monovalenten Betrieb

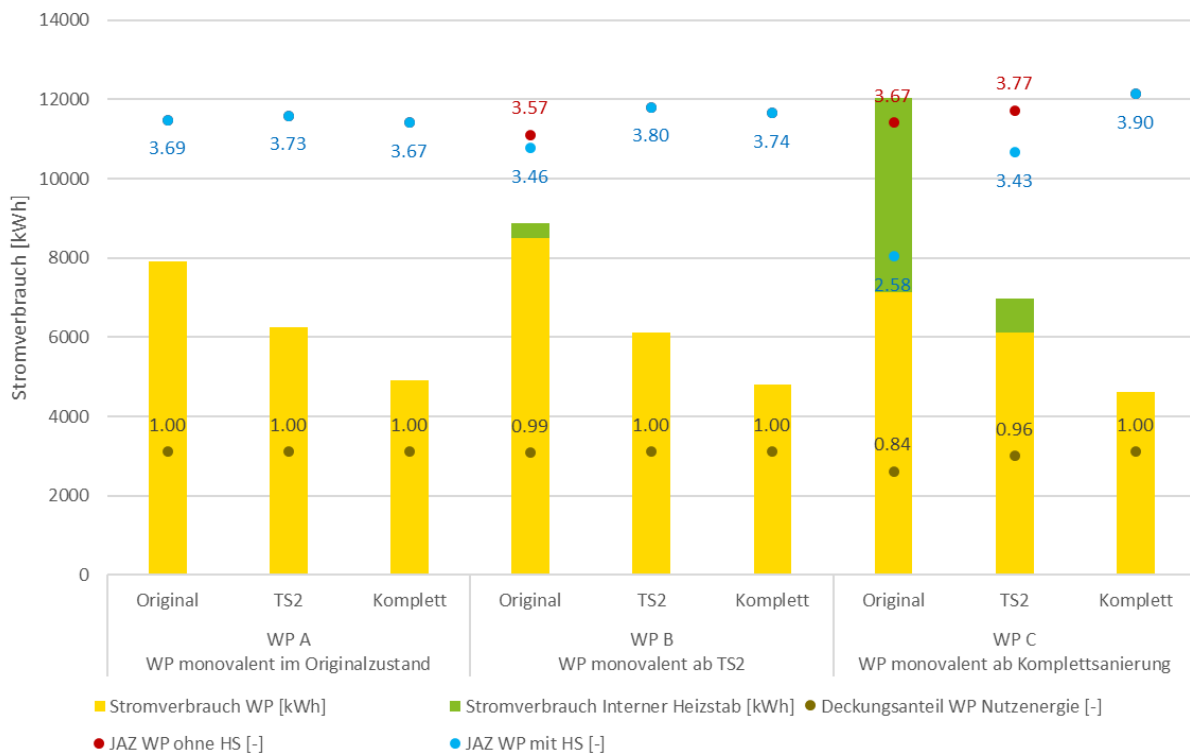
Simulationsstudie zur optimalen Dimensionierung

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Dimensionierungsstrategien zu quantifizieren, wurden drei Szenarien mittels dynamischer Simulation (Hydraulik M1) untersucht:

- Szenario WP A - Große Dimensionierung: Die Wärmepumpe wird für monovalenten Betrieb im unsanierten Zustand ausgelegt. Sie arbeitet durchgehend ohne Heizstab, wird aber mit fortschreitender Sanierung zunehmend überdimensioniert.
- Szenario WP B - Mittlere Dimensionierung: Die Auslegung erfolgt für monovalenten Betrieb ab Teilsanierung TS2. Im Originalzustand ist Heizstabunterstützung erforderlich.
- Szenario WP C - Kleine Dimensionierung: Die Wärmepumpe wird auf den vollsanierten Endzustand dimensioniert. In allen anderen Zuständen arbeitet sie mit Heizstabunterstützung.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Bild 91 dargestellt.

Bild 91: Stromverbrauch, Effizienz und Deckungsanteil in drei Sanierungszustände für die drei Szenarien (WP monovalent ab Originalzustand (WP A); ab TS2 (WP B); oder ab Komplettsanierung (WP C))



Die höchsten JAZ werden erreicht, wenn die Wärmepumpe exakt für den jeweiligen Sanierungszustand dimensioniert ist. So erreicht beispielsweise die mittlere Dimensionierung (Szenario 2) im Zustand TS2 mit JAZ 3,8 den Bestwert.

WP C zeigt im unsanierten Zustand erhebliche Schwächen: Der WP-Deckungsanteil von nur 84 % führt zu einer unbefriedigenden JAZ von 2,58. Die kleine Wärmepumpe ist hier deutlich unterdimensioniert, was zu hohem Heizstabanteil und entsprechend schlechter Gesamteffizienz führt.

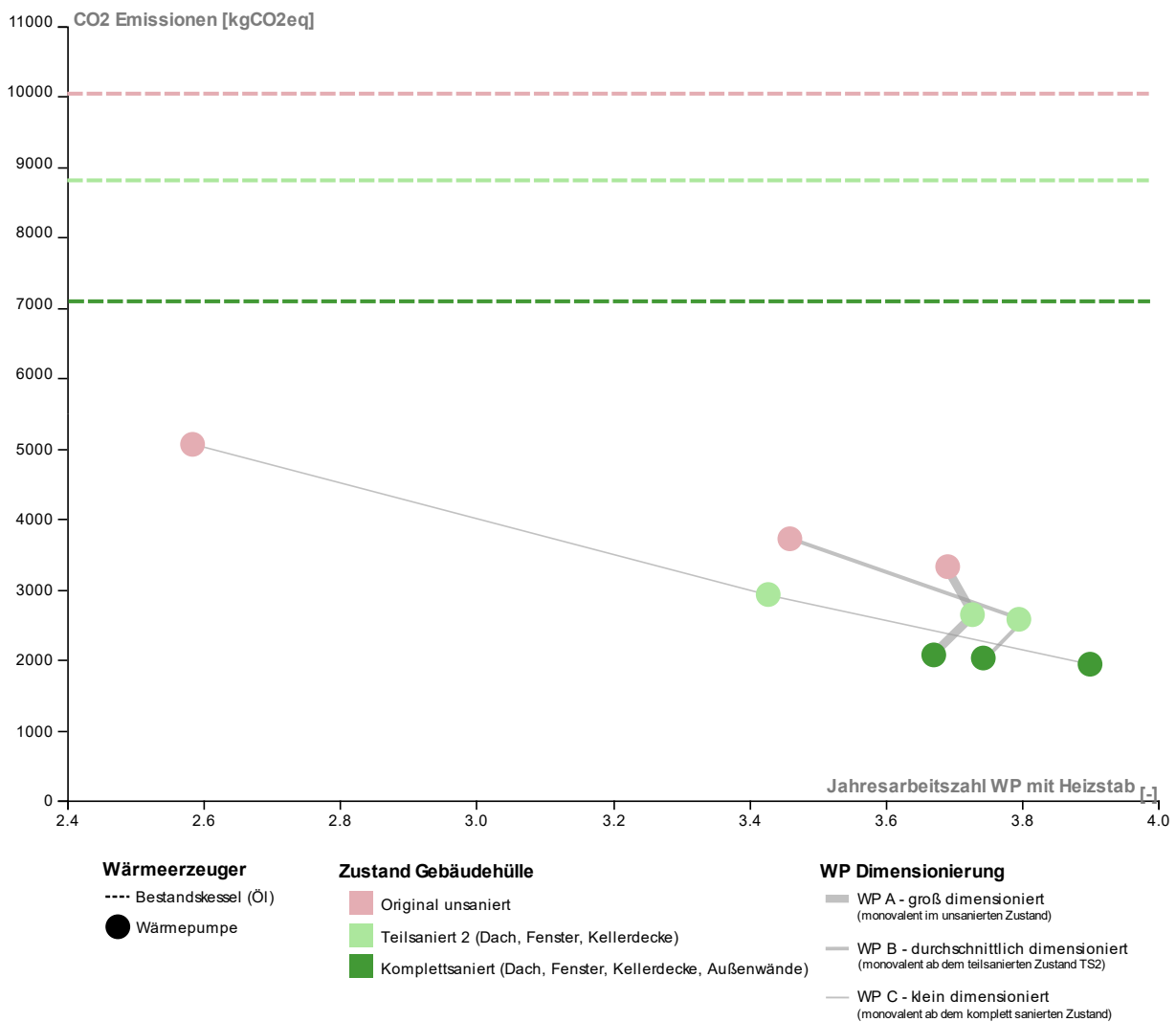
WP A bietet durchgehend gute Arbeitszahlen über alle Sanierungszustände. Die Überdimensionierung im vollsanierten Zustand führt nur zu geringfügigen Effizienzreduzierungen. Allerdings zeigen die Simulationen auch, dass überdimensionierte Wärmepumpen häufiger Takten, was die Lebensdauer negativ beeinflussen kann (außerdem liegen die Investitionskosten höher). Um diesem Effekt zu kompensieren, wurde in den Berechnungen das Pufferspeichervolumen von 300 auf 400 Liter erhöht.

WP B stellt einen Kompromiss dar: Im Originalzustand beträgt der Heizstabanteil nur 1 %, was eine hohe Effizienz (JAZ von 3,46) ermöglicht. Mit fortschreitender Sanierung steigt die Arbeitszahl kontinuierlich bis auf 3,74 im vollsanierten Zustand.

Bewertung der Treibhausgasemissionen

Die Analyse der Treibhausgasemissionen (Bild 92) bestätigt die Vorteile der Szenarien A und B. Beide ermöglichen über alle Sanierungszustände hinweg niedrige Emissionen und hohe Effizienz. Unter Berücksichtigung aller Faktoren (Effizienz, Emissionen, Taktverhalten und Lebensdauer) stellt Szenario B (mittlere Dimensionierung) die optimale Lösung dar.

Bild 92: Jährliche Treibhausgas-Emissionen und Effizienz in drei Sanierungszustände für die drei Varianten zur Wärmepumpendimensionierung



4.2.4 Einfluss der Heizkreis-Spreizung auf die Effizienz

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird nicht nur durch die Vorlauftemperatur, sondern auch durch die Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf des Heizkreises beeinflusst. Um diesen Zusammenhang zu quantifizieren, wurde eine systematische Untersuchung am System M1 im Teilsanierungszustand TS1 bei einer Vorlauftemperatur von 55 °C durchgeführt. Durch Variation der Durchflussraten im Heizkreis wurden unterschiedliche mittlere Temperaturspreizungen erzeugt. Eine höhere Durchflussrate führt dabei zu einer geringeren Spreizung, da das Heizwasser weniger Zeit hat, sich in den Heizkörpern abzukühlen. Umgekehrt

resultieren niedrige Durchflussraten in größeren Temperaturdifferenzen zwischen Vor- und Rücklauf. Die Ergebnisse sind auf Tabelle 18 zusammengefasst.

Tabelle 18: Einfluss der Heizkreis-Spreizung auf der JAZ beim EFH-Modellgebäude im teilsanierten Zustand TS1

Durchsatz [l/h]	Mittlere Spreizung [K]	JAZ [-]
variabel (default)	6,7	3,71
500	11,7	3,52
700	9,3	3,63
1400	5,7	3,70
2100	4,1	3,67
2800	3,1	3,65
3500	2,5	3,64

Die Untersuchung zeigt einen moderaten Einfluss der Temperaturspreizung auf die Systemeffizienz. Die höchste Jahresarbeitszahl von 3,71 wird bei der variablen Standardeinstellung mit einer mittleren Spreizung von 6,7 K erreicht. Bei größeren Spreizungen sinkt die Effizienz erkennbar ab: Eine Spreizung von knapp 12 K führt zu einer JAZ-Reduktion auf 3,52. Die Untersuchung zeigt, dass die Heizkreisspreizung zwar einen begrenzten, aber relevanten Optimierungsparameter darstellt. Im Vergleich zur Absenkung der Vorlauftemperatur ist das Potenzial aber geringer. Dennoch sollte dieser Aspekt bei der Systemoptimierung nicht vernachlässigt werden, insbesondere da die Anpassung oft mit relativ geringem Aufwand möglich ist.

5 Modellanalysen zur Wärmepumpeneffizienz

In der Diskussion über den Beitrag elektrischer Wärmepumpen zur Transformation des Energiesystems und zum Klimaschutz spielt die Frage der erreichten Effizienz bei der Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme eine entscheidende Rolle. Denn bei der Erzeugung des benötigten elektrischen Stroms in herkömmlichen Kraftwerken entstehen Verluste und ein erheblicher Brennstoffverbrauch, und auch beim Übergang zu immer größeren Anteilen von brennstofffreiem Solar- und Windstrom sind die Kosten und die begrenzten Potentiale dieser Technologien zu beachten. Vor diesem Hintergrund wird in 5.1 und 5.2 ein Modellansatz zur Abschätzung der Aufwandszahl bzw. Jahresarbeitszahl als Kenngrößen für die Wärmepumpeneffizienz erläutert, der – anders als die Analysen in Kapitel 4 – auch ohne Rückgriff auf ein komplexes Simulationsprogramm angewendet werden kann. In Kap. 5.3 wird ein Vergleich mit den im Feldtest gemessenen Jahresarbeitszahlen durchgeführt. Eine spezielle Anwendung des Modells findet sich im Anhang D: Dort wird der Einfluss von Wärmedämmmaßnahmen auf die Verbesserung der Wärmepumpeneffizienz durch Absenkung der Heizungs-Vorlauftemperatur diskutiert.

5.1 Modellansatz: Konstanter Gütegrad

Elektrische Wärmepumpen entziehen der Umwelt bei niedriger Temperatur Wärme und erzeugen damit unter Einsatz zusätzlicher elektrischer Energie Wärme auf einem für die Heizung oder Warmwasserbereitung notwendigen höheren Temperaturniveau. Die Wärmepumpe funktioniert dabei nach einem sogenannten thermodynamischen Kreisprozess, bei dem ein Arbeitsmedium (das „Kältemittel“ der Wärmepumpe) die Umweltwärme aufnimmt und nach Verdichtung bei höherer Temperatur an das Wärmeversorgungssystem abgibt. Die zu einem bestimmten Zeitpunkt t erreichte Effizienz der Wärmepumpe, definiert als die abgegebene Wärmemenge dividiert durch die dafür eingesetzte elektrische Energie, wird als Leistungszahl bezeichnet (hier abgekürzt als ϵ_t bzw. COP: „Coefficient of Performance“). Der über das Jahr erreichte Durchschnittswert ist die sogenannte Jahresarbeitszahl (hier: ϵ bzw. JAZ).

Die Leistungszahl ist in starkem Maße von den Temperaturniveaus abhängig, die bei der Wärmeaufnahme und der Wärmeabgabe vorliegen. Zur vereinfachten Modellierung wird häufig ein Ansatz verwendet, der auf die physikalischen Grundlagen des thermodynamischen Prozesses zurückgreift. Demnach erreicht die Wärmepumpe im Idealfall die sogenannte „Carnot-Leistungszahl“, die nur von zwei Größen abhängt, nämlich dem Temperaturniveau des Arbeitsmediums bei der Wärmeaufnahme und bei der Wärmeabgabe. Dieser Idealwert stellt eine physikalische Obergrenze dar, die allerdings in der Realität aufgrund von Verlusten der realen technischen Maschine nicht erreicht werden kann. Um den realen Wert zu erhalten, muss der ideale Wert mit dem „Gütegrad“ g , einer Zahl kleiner als 1, multipliziert werden. Für die Modellierung von Wärmepumpen wird dabei häufig vereinfachend angenommen, dass der Gütegrad für die betrachtete Wärmepumpe konstant ist, d. h. nicht von den genannten Temperaturniveaus abhängt. Ein solcher Modellansatz wird hier als „Gütegradmodell“ bezeichnet. Der Ansatz ist weiterhin dadurch gekennzeichnet, dass in der Gleichung für die Ermittlung der Carnot-Leistungszahl als oberes Temperaturniveau die momentane Vorlauftemperatur der Heizung und (im Fall von Luft-Wasser-Wärmepumpen) als unteres Niveau die entsprechende Außenlufttemperatur angenommen wird¹¹. Der Ansatz lautet damit:

$$\epsilon_t = \text{COP} = g \times \epsilon_{\text{Carnot}} = g \times T_{V,t} / (T_{V,t} - T_a)$$

mit:

¹¹ Bei Kellerluft-Wärmepumpen wird dementsprechend die Temperatur der Kellerluft angesetzt. Im Fall von Erdreich-Wärmepumpen wird die Temperatur betrachtet, mit der die Sole (die in einer Erdsonde oder einem Erdkollektor die Umgebungswärme aufnimmt) in die Wärmepumpe eintritt.

ε_t :	Leistungszahl
g :	Gütegrad
$T_{V,t}$:	aktuelle Vorlauftemperatur in Kelvin
T_a :	aktuelle Außenlufttemperatur (ebenfalls in Kelvin)
$\varepsilon_{\text{Carnot}}$:	Carnot-Leistungszahl

In Modellrechnungen, kann der Gütegrad so eingestellt werden, dass sich im Gesamtergebnis für die Jahresarbeitszahl „plausible“ Werte einstellen, die sich etwa aus Feldmessungen für den betrachteten Wärmepumpentyp (also etwa Luft-Wasser- oder Erdreich-Wärmepumpen) ergeben. In diesen Fällen werden also keine konkreten Wärmepumpenmodelle, sondern abstrakte, „typische“ Wärmepumpen betrachtet.

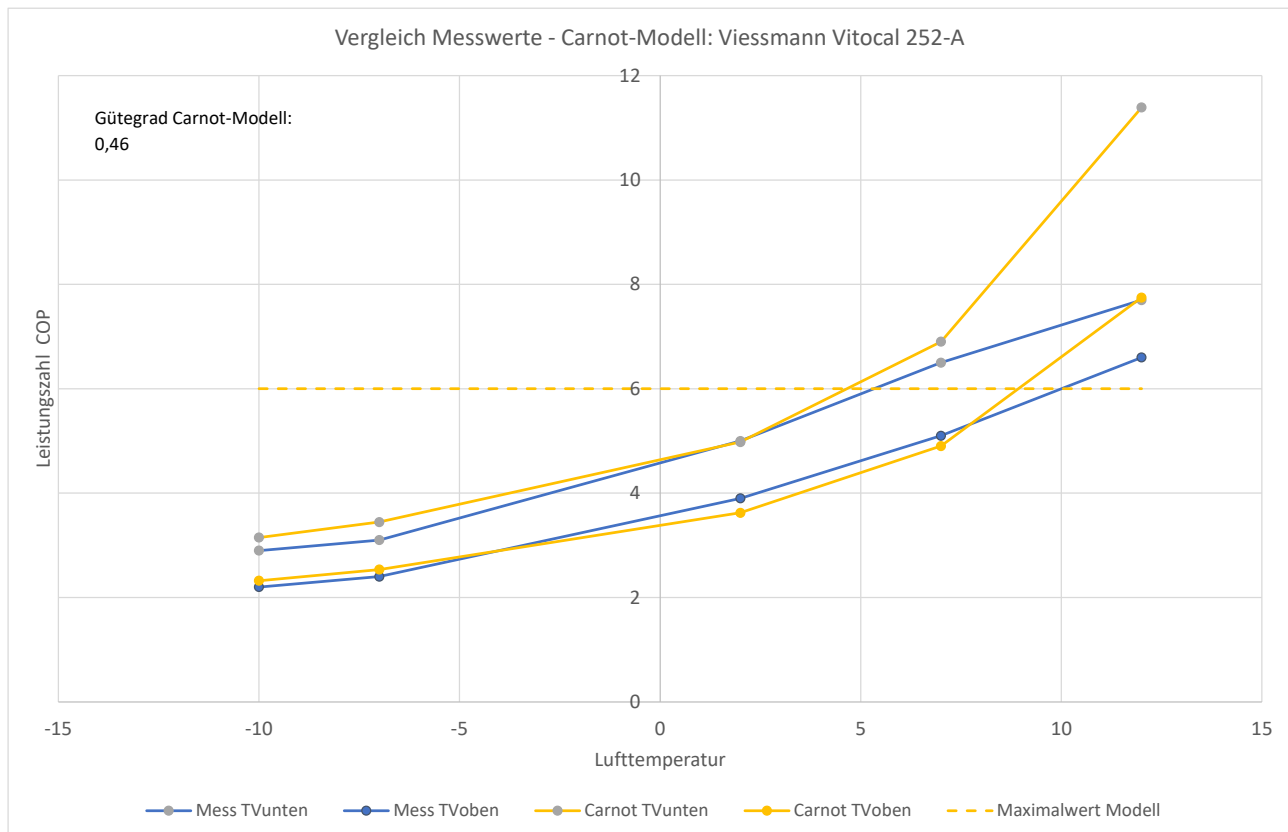
Der Gütegrad kann aber auch für eine konkrete Wärmepumpe ermittelt werden, indem man auf die Ergebnisse von Teststandsmessungen zurückgreift. Beispielsweise wird von den Herstellern sehr häufig der Messwert $\text{COP}_{A2/W35}$ bei 2 °C Außentemperatur und 35 °C Vorlauftemperatur dokumentiert. In diesem Fall kann der Gütegrad wie folgt ermittelt werden (mit Temperaturangaben in Kelvin), wobei die Carnot-Leistungszahl in diesem Fall den Wert 9,34 annimmt:

$$g = \text{COP}_{A2/W35} / (35 + 273,15) \times (35 - 2) = \text{COP}_{A2/W35} / 9,34$$

Bild 93 zeigt den Vergleich des Gütegrad-Modells mit verschiedenen Messpunkten für eine am Markt erhältliche Luft-Wasser-Wärmepumpe¹². Dargestellt ist die Leistungszahl der Wärmepumpe für verschiedene Außen- und Vorlauftemperaturen.

Die beiden blauen Kurven zeigen die Werte der Prüfstandsmessung. Die obere Kurve („MessTVunten“) mit niedrigeren Vorlauftemperaturen (aber den höheren Leistungszahlen) beginnt links (bei -10 °C Lufttemperatur) mit einer Vorlauftemperatur von 35 °C. Mit steigender Lufttemperatur wurde die Vorlauftemperatur bei der Messung abgesenkt, im äußersten rechten Punkt bei 12 °C Lufttemperatur beträgt sie noch 24 °C. Die untere blaue Kurve („MessTVoben“) wurde mit höheren Vorlauftemperaturen zwischen 55 °C (bei -10°C Lufttemperatur) und 30 °C (bei 12 °C) ermittelt.

¹² Messwerte nach [WPZ 2024] für die Wärmepumpe Viessmann Vitocal 252-A 251.A13 540-21-38 b,d R290 2.0. Die Wärmepumpe verwendet das Kältemittel R 290 (Propan).

Bild 93: Vergleich von Messwerten und Modellergebnissen für eine konkrete Luft-Wasser-Wärmepumpe

Die beiden gelben Kurven zeigen demgegenüber die Modellergebnisse, die bei den jeweils gleichen Paarungen von Vorlauf- und Lufttemperatur mit dem Gütegradmodell ermittelt wurden. Der Gütegrad wurde hier so eingestellt, dass auf der oberen Kurve bei 2 °C Lufttemperatur das Modellergebnis genau mit dem Messwert übereinstimmt. Auf diese Weise ergab sich hier ein Wert von 0,46.

Der Vergleich der blauen und gelben Kurven zeigt, dass das Gütegradmodell in diesem Beispiel den Verlauf der Messwerte zwar nicht präzise, aber einigermaßen plausibel wiedergeben kann. Große Abweichungen ergeben sich lediglich im Bereich rechts bei hohen Lufttemperaturen. Dieser Bereich ist aber kaum relevant, da bei diesen Außentemperaturen der Heizwärmebedarf gering ist.

Darüber hinaus wird bei dem Gütegrad-Modellansatz im Simulationsmodell des IWU nach [Diefenbach et al. 2017], das auch im Rahmen des vorliegenden Projekts verwendet wurde, zur Vorbeugung unrealistischer hoher Modellwerte ein Maximum der Leistungszahl von $COP_{\max} = 6,0$ angenommen. Diese Effizienz-Obergrenze ist in der Abbildung als gestrichelte Linie dargestellt. Die im rechten Bereich des Diagramms deutlich nach oben abweichenden Rechenwerte kommen also in dem Modellansatz nicht zum Tragen.

Das in dieser oder ähnlicher Form häufig angewendete Gütegrad-Konzept erscheint hier also insgesamt als ein plausibler Modellansatz zur Abschätzung der Wärmepumpen-Effizienz bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Die gute Übereinstimmung im beschriebenen Beispiel kann allerdings nicht beliebig verallgemeinert werden. Der Ansatz, aus einem einzigen Messpunkt in Kombination mit der physikalisch begründeten Carnot-Leistungszahl ein Kennlinienfeld zu konstruieren, erfüllt zwar das Ziel eines einfach handhabbaren plausiblen Verfahrens, stellt aber darüber hinaus eine starke Vereinfachung dar. Für komplexere Analysen etwa unter Einsatz eines Simulationsprogrammes ist die Verwendung mehrerer gemessener Kennlinienpunkte sinnvoll: Entsprechend wurde bei den Modellanalysen mit dem Programm Polysun in Kapitel 4 verfahren.

Ohnehin ist aber zu beachten, dass im realen Betrieb noch weitere Einflussfaktoren hinzukommen, die offenbar im Allgemeinen dazu führen, dass die tatsächliche Effizienz deutlich unter den theoretischen Werten

liegt: Dieser Aspekt wird in Kapitel 5.3 untersucht. Zunächst soll aber in Kapitel 5.2 der Modellansatz mit dem Ziel der Anwendung in Jahres-Energiebilanzen erweitert werden.

5.2 Anwendung bei der Jahresbilanz

Für Wärmepumpen gilt: Je niedriger die Vorlauftemperatur der Heizung, desto höher ist die Effizienz. Dies wird beispielsweise aus der oben angegebenen Gleichung für die Leistungszahl COP¹³ und aus den Kurvenpaaren für die beiden verschiedenen Vorlauftemperaturniveaus in Bild 93 deutlich. Insbesondere in Bestandsgebäuden, in denen die Wärmeabgabe in der Regel über Heizkörper erfolgt (und die Vorlauftemperatur daher deutlich höher liegt als bei Fußbodenheizungen), ist diese Frage relevant.

Vor diesem Hintergrund wurden mit dem Simulationsmodell des IWU Untersuchungen für monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen durchgeführt. Für Bestandsgebäude mit unterschiedlicher Dämmung an mehreren Standorten (Hamburg, Stuttgart und Dresden)¹⁴ für unterschiedliche Untersuchungsjahre wurde die Wärmepumpeneffizienz in Abhängigkeit von der Vorlauftemperatur der Heizung untersucht. Für die Auswertungen wurde der Jahresdurchschnittswert der Aufwandszahl e , d. h. der Kehrwert der Jahresarbeitszahl JAZ betrachtet:

$$e = 1/\text{JAZ (Aufwandszahl)}$$

Es wurden Wetterdaten der fünf Jahre 2011 – 2015 verwendet, wobei, jeweils bezogen auf die Heizperiode in der kalten Jahreszeit, die Jahre 2012 und 2013 relativ kalt und die Jahre 2014 und 2015 relativ warm waren, während 2011 mittlere Werte aufweist: Die Heizgradtage (bezogen auf eine Heizgrenze von 15 °C, in der Einheit Kelvintage pro Jahr [Kd/a]) lagen im Mittel über die Standorte bei ca. 1980 Kd/a (2011), 2210 Kd/a (2012), 2318 Kd/a (2013), 1730 Kd/a (2014) bzw. 1910 Kd/a (2015). Als Gütegrad der Wärmepumpe wurde ein „Basiswert“ von $g_0 = 0,375$ angenommen.

Als Vorlauftemperatur wird die „Auslegungsvorlauftemperatur“ T_v an den kältesten Tagen betrachtet. Es wird im Modell angenommen, dass diese Temperatur bei Außentemperaturen von -10 °C und kälter eingestellt ist. Bei höheren Außentemperaturen werden die Vorlauftemperaturen der Heizung entsprechend der eingestellten Heizkurve abgesenkt. Im Modell wird angenommen, dass diese Heizkurve linear zwischen den Punkten (Außenluft-/Vorlauftemperatur) -10 °C/ T_v und 20 °C/20 °C verläuft. Der letzte Punkt wird in der Praxis quasi niemals erreicht, da bei Außentemperaturen von 20 °C nicht geheizt werden muss.

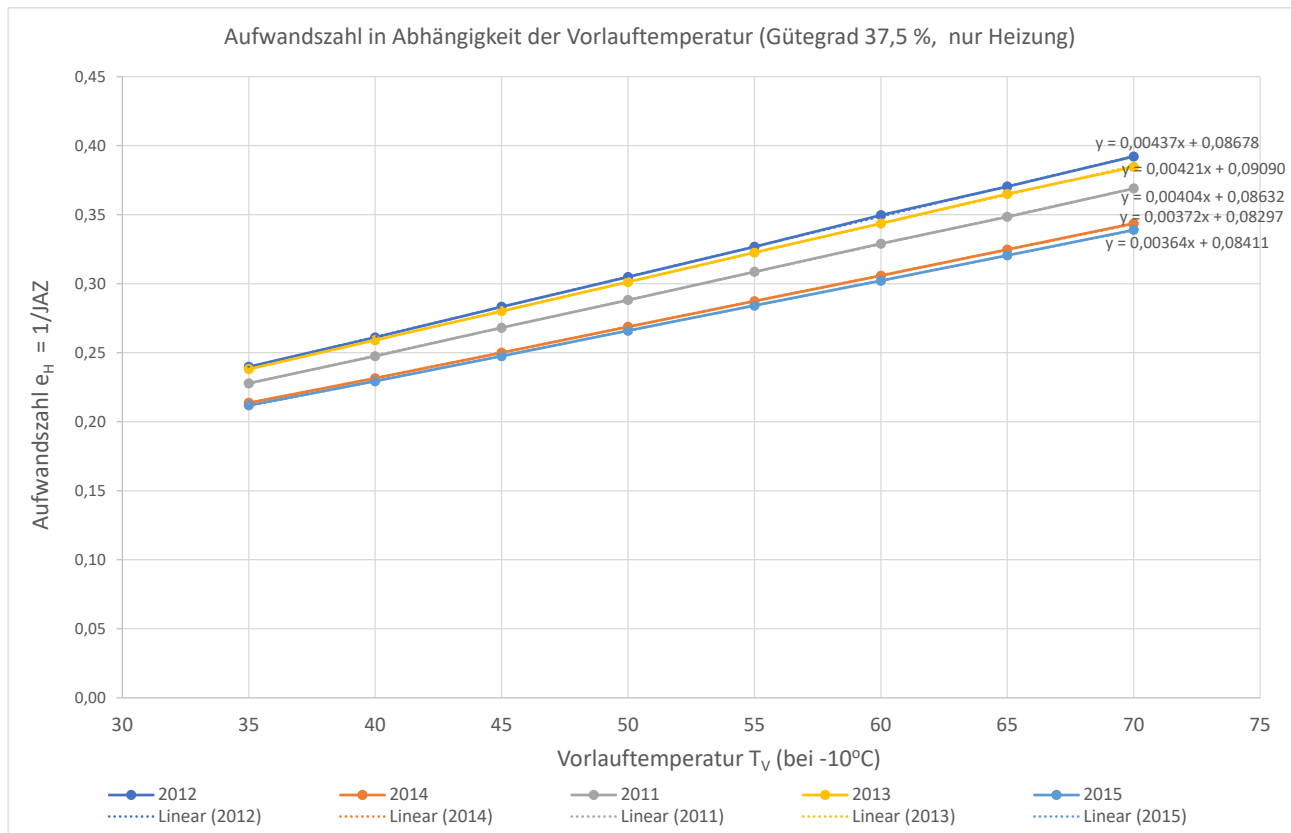
Bild 94 zeigt das Ergebnis der Modellrechnungen. Dargestellt ist der Verlauf der Aufwandszahl e_H für die Heizwärmeerzeugung (Jahreswert) abhängig von der Auslegungs-Vorlauftemperatur T_v . Die fünf Kurven zeigen die Ergebnisse für die fünf Untersuchungsjahre 2011- 2015.

¹³ Es gilt: Aufwandszahl zum Zeitpunkt t : $e_t = 1/\epsilon_t = (T_{v,t} - T_a) / (g \times T_{v,t}) = 1/g \times (1 - T_a / T_{v,t})$. Die Aufwandszahl (der Kehrwert der Leistungszahl) wird demnach mit sinkendem $T_{v,t}$ kleiner, dementsprechend erhöht sich die Leistungszahl.

¹⁴ In [Diefenbach et al 2019, Kapitel 3.5.5] werden im Vergleich Simulationsanalysen mit 30 über Deutschland verteilten Standorten bzw. den genannten drei Standorten verglichen. Es wird gezeigt, dass die Reduzierung der Betrachtung auf diese drei Standorte keine relevanten Abweichungen in der Jahres-Energiebilanz mit sich bringt.

Für die Analyse im vorliegenden Projekt wurde – bei vorgegebenem Gesamtwärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser im Wohngebäudebestand – die Zusammensetzung des Gebäudebestands nach Wärmeschutzstandards (Anteile energetisch unmodernisierter, teilmodernisierter und vollmodernisierter Gebäude) variiert. Dabei ergab sich, dass die Untersuchungsergebnisse für die Abhängigkeit der Jahresarbeitszahlen von der Vorlauftemperatur nicht in relevantem Umfang von dieser Zusammensetzung abhängen.

Bild 94: Abhängigkeit der Aufwandszahl für die Heizwärmeerzeugung e_H von der Auslegungs-Vorlauftemperatur T_V der Heizung bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Gütegrad $g = 0,375$: Analysen für den Wohngebäudebestand mit dem Simulationsmodell aus [Diefenbach et al. 2019]



Es zeigt sich, dass die Abhängigkeit der Aufwandszahl von der Vorlauftemperatur für die einzelnen Untersuchungsjahre sehr gut durch Geradengleichungen wiedergegeben werden kann.

$$e_H = m_{TV} \times T_V + c_{TV}$$

mit:

- e_H : Aufwandszahl der Wärmepumpe für die Heizwärmeerzeugung
- T_V : Auslegungsvorlauftemperatur der Heizung in $^\circ\text{C}$ (bei -10°C Außentemperatur)
- m_{TV} : Kurvensteigung (in $1/\text{K}$ bzw. $1/^\circ\text{C}$, je nach Untersuchungsjahr)
- c_{TV} : Modellkonstante (je nach Untersuchungsjahr)

Die Kurvensteigung m_{TV} und Achsenabschnitte c_{TV} wurden durch Regressionsanalyse ermittelt, die Werte sind im Diagramm dargestellt (von oben nach unten für die Jahre 2012, 2013, 2011, 2014 und 2015)

Die Kurven der Jahre 2012 bzw. 2013 werden im Folgenden als Anhaltswerte für kältere, die Kurven für 2014 bzw. 2015 für wärmere Jahre verwendet.

Als Anhaltswerte für ein mittleres Jahr werden gerundete Werte ausgehend von dem Ergebnis für 2011 verwendet¹⁵. Der Index „0“ gibt hier an, dass es sich um Basiswerte handelt, die im Hinblick auf die Außentemperaturen in der Heizperiode für ein mittleres Jahr und außerdem für eine Wärmepumpe mit einem vorgegebenen Basisgütegrad von $g_0 = 0,375$ stehen:

¹⁵ Absolute Temperaturwerte werden hier und im Folgenden in Grad Celsius $^\circ\text{C}$, Temperaturdifferenzen sowie Zu- und Abschlüsse der Temperatur in der Einheit Kelvin (K) angegeben. Die Geradensteigung hat die Einheit $\text{K}^{-1} = 1/\text{K}$.

$$e_{H,0} = m_{TV,0} \times T_V + c_{TV,0}$$

mit den folgenden Koeffizienten (mittleres Jahr, Gütegrad g der Wärmepumpe = $g_0 = 0,375$):

$$m_{TV,0} = 0,004 \text{ K}^{-1}$$

$$c_{TV,0} = 0,085$$

Für andere Werte des Gütegrades g ergibt sich die Aufwandszahl (aufgrund der angenommenen zeitlichen Konstanz aller Gütegrade) durch lineare Anpassung der Geradengleichung:

$$e_H = e_{H,0} \times g_0/g = (m_{TV,0} \times T_V + c_{TV,0}) \times g_0/g \quad (\text{Gl. 1a})^{16}$$

Bei einer Änderung der Vorlauftemperatur um den Betrag von ΔT_V ergibt sich dann die folgende Änderung Δe_H der Aufwandszahl:

$$\Delta e_H = m_{TV,0} \times g_0/g \times \Delta T_V = d_0/g \times \Delta T_V \quad (\text{Gl. 1b})$$

$$\text{mit: } d_0 = m_{TV,0} \times g_0 = 0,004 \text{ K}^{-1} \times 0,375 = 0,0015 \text{ K}^{-1}$$

Eine entsprechende Untersuchung mit den Wetterdaten der fünf Untersuchungsjahre wurde außer für die Heizung auch für die Warmwasserbereitung durchgeführt (Gütegrad der Wärmepumpe $g_0 = 0,375$, Warmwasser-Temperatur: 60°C)¹⁷. Hier lagen die Ergebnisse für die Jahresarbeitszahl in einem relativ engen Bereich zwischen 2,46 und 2,57. Für die weiteren Analysen wird unabhängig von der Witterung im Betrachtungsjahr ein Wert von 2,51 angesetzt. Die Aufwandszahl ergibt sich damit zu $e_{W,0} = 0,4$. Für andere Gütegrade lässt sich auch dieser Wert proportional anpassen, so dass sich die Aufwandszahl für die Warmwasserbereitung allgemein wie folgt ergibt:

$$e_W = e_{W,0} \times g_0/g$$

mit:

$$e_{W,0} = 0,4$$

Bei Wärmepumpen, die sowohl Heizwärme (Betrag: Q_H) als auch Warmwasser (Q_W) erzeugen und dafür elektrische Energie in Höhe von E_H bzw. E_W einsetzen, gilt für die Gesamt-Aufwandszahl (mit $Q_{\text{ges}} = Q_H + Q_W$):

$$e = (E_H + E_W) / Q_{\text{ges}} = Q_H/Q_{\text{ges}} \times E_H/Q_H + Q_W/Q_{\text{ges}} \times E_W/Q_W = D_{WP,H} \times e_H + D_{WP,W} \times e_W$$

mit:

$D_{WP,H} = Q_H/Q_{\text{ges}}$: Anteil der produzierten Heizwärme an der Gesamt-Wärmeproduktion der Wärmepumpe.

$D_{WP,W} = Q_W/Q_{\text{ges}} = 1 - D_{WP,H}$: entsprechender Anteil der Warmwasser-Wärme.

¹⁶ Die Nummerierung der Gleichungen wird hier eingeführt, da in späteren Kapiteln auf diese Terme noch einmal zurückgegriffen wird.

¹⁷ Bei der Verwendung von Wärmepumpen im Einfamilienhaus werden, wie sich in der Felduntersuchung zeigt (vgl. Kapitel 3.3) teils deutlich niedrigere Warmwasser-Zieltemperaturen eingestellt. Im Durchschnitt der untersuchten monovalenten Warmwasser-Wärmepumpen ergibt sich für 18 auswertbare Einfamilienhäuser ein Mittelwert von rund 47°C , so dass leicht aufgerundet auch ein Ansatz von z. B. 50°C plausibel erschiene. Vor diesem Hintergrund wären noch etwas günstigere Ergebnisse für die Warmwasserbereitung, d. h. eine geringere Aufwandszahl und eine entsprechend höhere Arbeitszahl, zu erwarten. Auf eine Anpassung des ursprünglichen Modellansatzes wurde hier aber im Sinne eines möglichst einfachen, auch auf andere Fälle (etwa Mehrfamilienhäuser) mit höheren Temperaturen übertragbaren Verfahrens verzichtet. Dies erscheint insbesondere auch vor dem Hintergrund gerechtfertigt, dass sich in den weiteren Auswertungen in Kapitel 5.3 die theoretischen Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen im Vergleich zu den Messwerten ohnehin als zu optimistisch herausstellen.

Gleichwohl wurde hier ergänzend auch die Alternative einer Absenkung der Warmwassertemperatur auf 50°C analysiert. Die Jahresarbeitszahl der Warmwasserbereitung erhöht sich dadurch auf ca. 3,1, so dass dann $e_{W,0} = 0,32$ erreicht würde.

Mit dem hier beschriebenen Verfahren zur Analyse der Effizienz von Wärmepumpen wird in Anhang D die Frage untersucht, wie hoch im Fall einer Wärmepumpenheizung der zusätzliche Energiespareffekt von Wärmeschutzmaßnahmen ausfällt, wenn man neben der eingesparten Heizwärme auch die Steigerung der Wärmepumpeneffizienz aufgrund der im Anschluss an die Dämmung mögliche Absenkung der Vorlauftemperaturen berücksichtigt. Dieser zusätzliche Einspareffekt hängt insbesondere vom Umfang der Wärmeschutzmaßnahmen ab, sehr grob gesprochen liegt er bei monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen typischerweise in einer Größenordnung von 10 % (und zwar bezogen auf die Einsparungen, die durch die Dämmung im Fall einer gleichbleibenden Wärmepumpeneffizienz erreicht würden).

5.3 Vergleich theoretischer Jahresarbeitszahlen und Gütegrade mit den Ergebnissen der Felduntersuchung

Im Rahmen der im vorliegenden Projekt durchgeführten Felduntersuchung wurden auch die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen ermittelt (s. Kapitel 3.3). Für monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen liegen dabei 23 auswertbare Fälle vor, davon 22 Ein-/Zweifamilienhäuser (EZFH) und ein Mehrfamilienhaus. Für diese soll nun ein Vergleich der aus den Messwerten des Jahres 2024 bestimmten Arbeitszahlen¹⁸ mit den theoretischen Werten durchgeführt werden, die sich nach dem oben beschriebenen Gütegrad der Wärmepumpen ergeben.

Der Gütegrad der einzelnen Wärmepumpen wurde, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, auf Grundlage von Herstellerangaben zur Leistungszahl COP_{A2W35} ermittelt. Die Berechnung der Aufwandszahl erfolgt gemäß den Ergebnissen von Kapitel 5.2 unter Verwendung der bei den Vor-Ort-Terminen ermittelten Auslegungs-Vorlauftemperaturen T_V der jeweiligen Gebäude und des im Feldtest gemessenen Anteils $D_{WP,H}$ der Heizwärmeerzeugung¹⁹. Die Bestimmung des Basiswertes der Aufwandszahl $e_{H,0}$ für Heizwärme erfolgte, da es sich beim Auswertungsjahr 2024 um eine eher warme Heizperiode handelte, mit der Geradengleichung für das wärmste bei den Simulationen verwendete Untersuchungsjahr 2014²⁰.

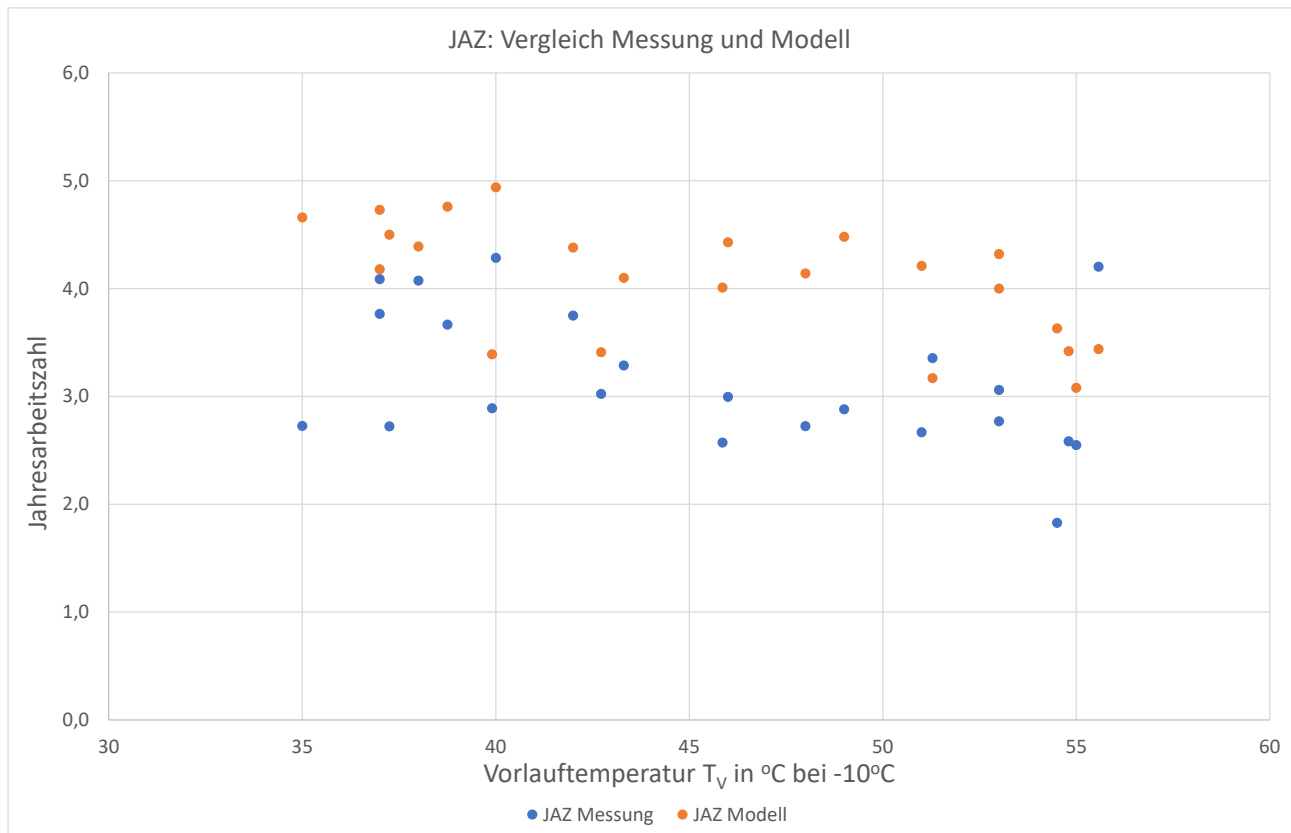
Bild 95 zeigt in blau die gemessenen und in orange die theoretischen Jahresarbeitszahlen ($JAZ = 1/e$) für die Luft-Wasser-Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Auslegungs-Vorlauftemperatur der Heizsysteme (bei einer Außentemperatur von -10 °C). Die zur jeweils gleichen Anlage gehörenden blauen und orangen Punkte weisen die gleiche Vorlauftemperatur auf und liegen damit in der Abbildung direkt übereinander.

¹⁸ Vereinfachend wird hier von der „gemessenen Jahresarbeitszahl“ bzw. von den „Messwerten der Jahresarbeitszahl“ gesprochen. Tatsächlich mussten zur Gewinnung vergleichbarer Ergebnisse auf Basis der ursprünglichen Messwerte noch Anpassungsrechnungen an einen einheitlichen Bilanzkreis durchgeführt werden, vgl. Kapitel 3.1.2.

¹⁹ Bei 4 von 23 Teilnehmern konnte $D_{WP,H}$ nicht aus Messwerten bestimmt werden. In diesen Fällen wurde der Anteil zu 80 % angenommen. Dies entspricht (leicht gerundet) dem Mittelwert der 13 Teilnehmer mit Heizung und Warmwasserbereitung (EZFH, ohne Sonderfall Frischwasserstation), bei denen Messwerte vorlagen: Dieser betrug 81 %.

²⁰ Für das Jahr 2024 betrug die Heizgradtage in Darmstadt (hier als Repräsentant für die Teilnehmer in Südhessen gewählt) rund 1750 Kd und lagen damit ungefähr in dem Bereich des Mittelwerts der Simulationsansätze für 2014 in Höhe von 1730 Kd (vgl. Kapitel 5.2).

Bild 95: Jahresarbeitszahlen (JAZ) der monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen im Feldtest: Vergleich der Messwerte (blau) mit den theoretischen Modellwerten des Gütegrad-Modells (orange) in Abhängigkeit von der Auslegungs-Vorlauftemperatur T_v der Heizsysteme



Es wird deutlich, dass – mit wenigen Ausnahmen – die gemessenen Werte der Jahresarbeitszahl JAZ_{Messung} zumeist merklich unter den theoretischen Modellwerten JAZ_{Modell} liegen. Als Mittelwerte für die hier betrachteten monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen ergeben sich $JAZ_{\text{Modell}}^{21} = 4,08$ und $JAZ_{\text{Messung}} = 3,15$.

Der Quotient $f_{\text{korrr,JAZ}} = JAZ_{\text{Messung}} / JAZ_{\text{Modell}}$ kann als Korrekturfaktor interpretiert werden, mit dem der Modellwert multipliziert werden muss, um den gemessenen Wert zu erhalten. Im Durchschnitt über alle 23 Teilnehmer ergibt sich der Wert dieses Korrekturfaktors zu $f_{\text{korrr,JAZ}} = 0,78$. Die tatsächliche Effizienz der Wärmepumpen liegt hier also im Mittel um 22 % niedriger als nach dem theoretischen Gütegrad-Ansatz zu erwarten wäre.

Auch die Gütegrade der Wärmepumpen können auf diese Weise analysiert werden: Die theoretischen, aus den Herstellerangaben berechneten Einzelwerte g_{Modell} liegen hier zwischen 0,35 und 0,49, der Mittelwert bei 0,43. Die tatsächlich gemessenen Gütegrade $g_{\text{Messung}} = f_{\text{korrr,JAZ}} \times g_{\text{Modell}}$ bewegen sich demgegenüber zwischen 0,22 und 0,54. Für den Mittelwert ergibt sich ein Wert von 0,33.

Der Vergleich zeigt, dass die Effizienzwerte der Wärmepumpen in der Praxis offensichtlich merklich unter den theoretischen Werten des Gütegrad-Modells liegen. Dennoch können die Ergebnisse der Messung als zufriedenstellend bezeichnet werden: Auch bei höheren Vorlauftemperaturen im Bereich von 45 °C bis 55 °C wurden Jahresarbeitszahlen von mehr als 2,5, teils nahe bei 3,0 oder in Einzelfällen noch darüber erzielt. Im Mittel ergibt sich für diese 12 Fälle: $JAZ_{\text{Messung}} = 2,85$. In der IWU-Studie [Diefenbach et al. 2019] war gezeigt

²¹ Bei Ansatz der geringeren Aufwandszahl für die Warmwasserbereitung ($e_{w,0} = 0,32$ statt 0,4 für die Ein-/Zweifamilienhäuser gemäß Kapitel 5.2, Fußnote 17) ergäbe sich im Durchschnitt $JAZ_{\text{Modell}} = 4,28$, also ein nochmals um etwa 5 % höherer Modell-Mittelwert.

worden, dass die elektrischen Wärmepumpen vor dem Hintergrund zunehmender Anteile erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung auch dann eine Schlüsselrolle für die Erreichung der Klimaschutzziele im Wohngebäudebestand spielen können und müssen, wenn im Durchschnitt Jahresarbeitszahlen von lediglich ca. 2,5 über alle Wärmepumpenarten erreicht werden können²².

Gleichwohl gilt auch nach der genannten Studie: Je besser die erreichten Jahresarbeitszahlen sind, desto eher können die Klimaschutzziele vor dem Hintergrund begrenzter Potentiale (insbesondere der Windenergie) und möglicher Zielverfehlungen in anderen Bereichen (etwa bezüglich der Fortschritte beim Wärmeschutz im Gebäudebestand) eingehalten werden. Die Frage, wie besonders hohe Jahresarbeitszahlen in der Praxis erreicht werden können, verdient also weiterhin eine besondere Aufmerksamkeit.

Für insgesamt acht monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen konnte die Auswertung von Stromverbräuchen und Wärmeproduktion an jeweils ungefähr drei kalten Tagen im Januar 2025 (ca. 11. -14.01.) durchgeführt werden. Die mittleren Außentemperaturen lagen dabei je nach Standort und genauem Zuschnitt der Messperiode zwischen -0,4 °C und -2,5 °C, im Durchschnitt bei -1,3 °C. Der Mittelwert der gemessenen Arbeitszahlen in diesem Zeitraum betrug 2,5 (zwischen 1,8 und 3,0). Das Gütegradmodell wurde auch hier angewendet, um einen Vergleich mit den theoretischen Arbeitszahlen durchführen zu können. Als Vergleichswerte wurden die Carnot-Leistungszahlen auf Basis der im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Durchschnittswerte der Außentemperatur und der Heizungs-Vorlauftemperatur (laut Heizkurve) bestimmt, für den prozentualen Warmwasseranteil wurde ad hoc die Hälfte des Jahresdurchschnitts angenommen²³. Im Resultat ergab sich auf diese Weise ein Durchschnittswert für den „gemessenen“ Gütegrad in der Untersuchungsperiode von 0,35. Dieser Wert liegt damit ungefähr im Bereich des mittleren Jahreswertes $g_{\text{Messung}} = 0,33$ (s.o.). Ein direkter Vergleich ist zwar nur begrenzt möglich, da die Betrachtungen auf unterschiedlichen Untersuchungsfällen beruhen: Nur vier der acht Wärmepumpen waren gleichzeitig in der Jahresbetrachtung 2024 (mit 23 Wärmepumpen) vertreten. Immerhin kann die Analyse als ein Indiz dafür gewertet werden, dass die Gütegrade auch bei niedrigeren Temperaturen stabil sind.

Um Rückschlüsse auf den elektrischen Leistungsbedarf von Wärmepumpen zu ziehen, wäre eigentlich die Durchführung einer entsprechenden Auswertung bei sehr niedrigen Außentemperaturen im Bereich des Auslegungsfalls (also bei ca. -10 °C) von Interesse. In dieser Situation wäre womöglich auch mit einer stärkeren Rolle ergänzender elektrischer Heizstäbe zu rechnen. Während der Felduntersuchung trat eine solche starke Kälteperiode aber nicht auf, so dass diese Untersuchung nicht durchgeführt werden konnte.

²² In der Studie waren relativ konservative Annahmen zur Wärmepumpeneffizienz getroffen worden: Es war angenommen worden, dass die mittleren Jahresarbeitszahlen im Bereich von 2,5 durch hälftigen Einsatz von weniger effizienten Luft-Wasser- und effizienteren Erdreich-Wärmepumpen erreicht werden. Das Ergebnis des Feldtests, nach dem Werte deutlich über 2,5 auch bereits durch Luft-Wasser-Wärmepumpen erreicht werden, ist vor diesem Hintergrund als ermutigend anzusehen.

²³ Eine Variation dieses Einflussparameters zeigte, dass hier kein starker Einfluss auf das Ergebnis dieser Betrachtung bestand.

6 Bewertung von Wärmepumpen für Bestandsgebäude im Rahmen der elektrischen Energieversorgung

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Zwischenbericht

Die Treibhausgasemissionen der Wärmeversorgung mit Wärmepumpen werden sehr häufig – z. B. auch im Gebäude-Energie-Gesetz – auf Grundlage des wohnflächenbezogenen jährlichen Stromverbrauchs der Wärmepumpe und des Treibhausgas-Emissionsfaktors im deutschen „Strommix“ ermittelt. Dabei handelt es sich um den jährlichen Durchschnittswert der in den Kraftwerken und Stromerzeugungsanlagen auftretenden Treibhausgasemissionen pro Kilowattstunde Stromverbrauch. Ein entsprechender Ansatz wurde auch in den Analysen in Kapitel 4 angewendet.

Durch die Transformation der elektrischen Energieversorgung in Richtung auf Klimaneutralität stellen sich aber auch bei der Bewertung von Wärmepumpen und anderen Stromverbrauchern neue Herausforderungen: Aufgrund stark steigender Anteile der volatilen Stromerzeugung durch Photovoltaik- und Windkraftanlagen sind der in den verbleibenden Kraftwerken entstehende Brennstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen in zunehmendem Maße zeitabhängig. Für die Inanspruchnahme der Stromerzeugung durch die Verbraucher elektrischer Energie mit ihrem ebenfalls zeitabhängigen Lastprofil (etwa mit einer starken Lastspitze im Winter bei den Wärmepumpen) stellt sich damit die Frage, inwieweit Angebot und Nachfrage zeitlich zusammenpassen und ob der Ansatz eines durchschnittlichen Emissionsfaktors für die Bewertung der Wärmepumpen auf Dauer überhaupt noch sinnvoll ist.

Diese Fragestellung wurde bereits im Zwischenbericht des vorliegenden Projekts näher untersucht [Großklos et al. 2023, Kap. 4]. Für die Analysen wurde ein Simulationsmodell des IWU verwendet, mit dem das zeitliche Zusammenspiel des elektrischen Energieangebots mit der Nachfrage insbesondere im Wohngebäudesektor in Stundenschritten untersucht werden kann [Diefenbach et al. 2017, Diefenbach et al. 2019]. Hierfür wurde exemplarisch die Situation in einem zukünftigen elektrischen Energiesystem berücksichtigt, in dem bereits erhebliche Fortschritte in Richtung auf eine „erneuerbare“ Stromproduktion erreicht wurden und die volatile Erzeugung aus Solar- und Windenergie einen Anteil von mehr als 70 % einnimmt. Untersucht wurde der Einbau neuer Wärmeversorgungssysteme zur Heizung und Warmwasserbereitung in 15 % des Wohngebäudebestandes (ohne Neubauten). Ausgehend von dem bisherigen Standardsystem einer reinen Heizkessel-Wärmeerzeugung, bei der keine Interferenzen mit der Stromerzeugung und daher auch keine Probleme einer zeitabhängigen Bewertung auftreten, wurden die Treibhausgasemissionen strombasierter Wärmeversorgungsanlagen (monovalente und bivalente Wärmepumpen²⁴, elektrische Direktheizung) im Gesamtsystem beurteilt. Dazu wurde untersucht, welche Effekte auf den Brennstoffverbrauch und die Emissionen in den Gebäuden, sonstigen Stromverbrauchern (vereinfacht abgebildet) und Kraftwerken durch Übergang zu diesen Heizanlagen insgesamt entstehen. Auf dieser Grundlage wurden durch Vergleich mit dem von der Stromerzeugung unabhängigen Referenzsystem „Heizkessel“ die wohnflächenbasierten Treibhausgasemissionen der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme bestimmt.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen können hier wie folgt zusammengefasst werden:

- Die vereinfachte Bewertung der Treibhausgasemissionen von Wärmepumpen und direktelektrischen Heizsystemen mit Hilfe eines durchschnittlichen Strommixes erscheint vor dem Hintergrund der zunehmenden Anteile der zeitabhängigen Solar- und Windstromerzeugung problematisch und kann zu Verzerrungen führen. Dies gilt auch dann, wenn ein plausibler zukünftiger Strommix mit reduziertem Treibhausgas-Emissionsfaktor in Betracht gezogen wird.
- Besonders gravierend ist dieses Problem bei direktelektrischen Heizsystemen, die in der Durchschnittsbetrachtung viel günstiger abschneiden als bei einer differenzierten Analyse der

²⁴ Die thermische Leistung der bivalenten Wärmepumpen ist hier immer auf 35 % des Gebäude-Heizleistungsbedarfs ausgelegt.

Auswirkungen im Gesamtsystem. Hier besteht die Gefahr einer Überbewertung des Nutzens und der möglichen Rolle dieser Systeme auf dem Weg zum Klimaschutz.

- Qualitativ führen sowohl die Durchschnittsbewertung als auch die Analyse im Gesamtsystem zu dem plausiblen Ergebnis, dass Wärmepumpen in einem zukünftigen elektrischen Energiesystem erhebliche Vorteile gegenüber reinen Heizkesselheizungen aufweisen. Quantitativ gesehen sind aber auch hier Verzerrungen möglich: So kommen die Vorteile bivalenter Systeme bei der Durchschnittsbetrachtung (Ansatz Strommix) nicht richtig zum Tragen. Diese Vorteile sind insbesondere darin zu sehen, dass der Stromverbrauch in bivalenten Systemen gerade zu den Zeiten vermieden werden kann, zu denen besonders hohe Treibhausgasemissionen im Kraftwerkspark vorherrschen. Zu diesen Zeiten kann dann, anders als bei monovalenten Wärmepumpen oder direktelektrischen Systemen, der Heizkessel einspringen und die Wärmeproduktion übernehmen, während die Wärmepumpe ausgeschaltet bleibt. Bivalente Systeme schneiden daher in der Durchschnittsbetrachtung hinsichtlich der Treibhausgasemissionen für die Stromerzeugung in der Regel schlechter ab als monovalente Anlagen, während sie in der Gesamtsystembetrachtung im Zwischenbericht ungefähr mit diesen gleichauf liegen.
- Der Einsatz von Wärmespeichern bei monovalenten und bivalenten Wärmepumpen ist ein wichtiger Faktor für eine möglichst gute Ausnutzung des volatilen Solar- und Windstromangebots²⁵.
- Für eine aussagekräftige Analyse ist die Berücksichtigung der konkreten Wechselwirkungen zwischen Strom- und Wärmesektor wie in dem hier angewendeten Simulationsmodell erforderlich. Die alternativ ebenfalls denkbare Betrachtung stündlicher Durchschnittswerte für die Emissionsfaktoren im Strommix (als Ersatz für die Verwendung eines einzigen jährlichen Durchschnittswertes) und deren Verschneidung mit dem stündlichen Strombedarfsprofil elektrischer Heizsysteme führt gegenüber der jährlichen Durchschnittsbetrachtung zu keiner wesentlichen Veränderung und insgesamt immer noch zu keiner angemessenen Bewertung der verschiedenen Heizsysteme.
- Die Analyse der Wirkung im Gesamtsystem erscheint zwar wie beschrieben methodisch als der angemessene Ansatz für die zukünftige Bewertung von Wärmeversorgungssystemen, ist aber selbst nicht unabhängig von äußeren Modellannahmen bzw. Bewertungsmaßstäben. Insbesondere sind die Ergebnisse von der Annahme abhängig, ob und in welchem Umfang ein zusätzlicher Stromverbrauch der einzelnen Wärmeversorgungssysteme mit einem entsprechenden Zubau von regenerativen Stromerzeugungsanlagen im Gesamtsystem einhergeht.

6.2 Erweiterte Analysen mit Berücksichtigung monoenergetischer Wärmepumpen

Für den vorliegenden Endbericht wurden die Untersuchungen zur Bewertung von elektrischen Wärmepumpen im Gesamtsystem noch einmal aktualisiert und erweitert. Insbesondere ergeben sich die folgenden Veränderungen und Ergänzungen gegenüber dem Zwischenbericht:

- Bisher waren monovalente und bivalente Wärmepumpen, aber noch keine monoenergetischen Wärmepumpen berücksichtigt worden. Diese werden hier nun für verschiedene Deckungsbeiträge des elektrischen Heizstabs mit in die Untersuchungen einbezogen.

²⁵ In den Simulationsrechnungen war hier immer (bei monovalenten ebenso wie bei bivalenten Wärmepumpen) ein weiterer ergänzender Heizstab berücksichtigt worden, mit dem sich bei ausreichenden Solar- und Windstromüberschüssen die Speichertemperaturen noch über den für die Wärmepumpen angenommenen Maximaltemperatur von 60 °C hinaus bis auf nun maximal 80 °C anheben ließ.

- Hinsichtlich der Frage, inwieweit der zusätzliche Strombedarf von Wärmepumpen und elektrischen Heizungen einen entsprechenden Zubau der Solar- und Windenergie mit sich bringt, wird nun ein einheitlicher Ansatz verfolgt: Es wird angenommen, dass ein solcher Zubau immer stattfindet, und zwar in der Weise, dass am Ende im gesamten elektrischen Energiesystem unabhängig von der verwendeten Wärmeversorgung immer der gleiche Nutzungsanteil der volatilen Solar- und Windenergie in Höhe von 95,6 % erreicht wird. Das bedeutet, dass immer eine Abregelung von 4,4 % des produzierten Photovoltaik- und Windstroms stattfindet²⁶. Für den Zubau wird weiterhin angenommen, dass die zusätzlich produzierte elektrische Energie zu zwei Dritteln auf Windkraft und zu einem Drittel auf Solarstrom entfällt.
- Im Zwischenbericht waren die Analysen parallel für eine „effiziente“ und eine „ineffiziente“ Luft-Wasser-Wärmepumpe durchgeführt worden. In der neuen Untersuchung wird einheitlich eine „mittlere“ Wärmepumpeneffizienz angenommen. Dies führt im monovalenten Fall zu einer Jahresarbeitszahl von 2,9. Diese liegt ungefähr in dem Bereich der im Feldtest in Bestandsgebäuden beobachteten Werte – insbesondere wird sie im Mittel knapp auch noch von den Gebäuden mit Heizungsvorlauftemperaturen über 45 °C erreicht (vgl. Kapitel 5.3).
- Im Zwischenbericht war die Untersuchung der elektrischen Direktheizung in vereinfachter Weise so erfolgt, dass der zentrale Wärmeerzeuger (Heizkessel oder Wärmepumpe) durch ein direktelektrisches System ersetzt wurde. Da direktelektrische Heizungen aber in aller Regel dezentral in den Wohnräumen installiert werden und daher keine Wärmeverteilungsverluste aufweisen, kann der „zentrale“ Ansatz in dieser Hinsicht als „pessimistisch“ für die Elektroheizung angesehen werden. In der neuen Untersuchung wird zusätzlich eine zweite „dezentrale“ Variante untersucht, in der einerseits keine Wärmeverteilungsverluste mehr angesetzt werden, andererseits aber weiterhin der Einsatz des für die Ausnutzung der volatilen regenerativen Energieerzeugung wichtigen Wärmespeichers angenommen wird. Diese Kombination aus dezentralen Wärmeerzeugern mit einem zentralen Wärmespeicher ließe sich in der Praxis in dieser Form nicht realisieren, so dass diese zweite Variante nun als „idealisiert“ bzw. „optimistisch“ gelten kann²⁷.
- Als Vergleichsfälle für den Einsatz neuer Wärmepumpenanlagen oder direktelektrischer Heizungen werden wie im Zwischenbericht die bisherigen Standardsysteme im Gebäudebestand, d. h. reine Gas- bzw. Ölkesselheizungen betrachtet. Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen in den Heizkesseln wird weiterhin die Verwendung von fossilem Erdgas bzw. Heizöl angenommen. Nach den aktuellen Regelungen im Gebäude-Energie-Gesetz wäre dies nur noch dann zulässig, wenn es sich um bestehende Heizkessel handelt, während bei Neuinstallation nach einer Übergangsfrist zu einem hohen Anteil von 65 % erneuerbare Brennstoffe (z. B. Biomethan statt Erdgas) zu verwenden wären. Dieser Fall wird im vorliegenden Kapitel bei der Untersuchung der Treibhausgasemissionen aufgrund der mit diesen Brennstoffen zusammenhängenden ungeklärten Fragen (insbesondere: begrenzte Potentiale und indirekte Treibhausgasemissionen von Biomasse) nicht näher

²⁶ Die Abregelung ist notwendig, da die Solar- und Windstromerzeugung teils zu Zeiten stattfindet, zu denen sich keine Abnehmer für den produzierten Strom finden. Im Zwischenbericht war im einen Betrachtungsfall von einer absolut konstanten Solar- und Windstromproduktion (ohne Zubau), im anderen Fall von einem Zubau gegenüber der reinen Heizkessel-Wärmeversorgung ausgegangen worden, bei dem aber für alle „elektrischen“ Heizsysteme (monovalente und bivalente Wärmepumpen, elektrische Direktheizung) weiterhin die absolut gleiche Solar- und Windstrommenge angenommen wurde.

Demgegenüber ergeben sich in der neuen Untersuchung für jeden Anwendungsfall unterschiedliche Mengen für die „erneuerbare“ Stromproduktion, aber immer der gleiche prozentuale Abregelungsanteil von 4,4 % im Gesamtsystem. Die Brutto-Stromerzeugung (vor Abregelung) in Deutschland aus Photovoltaik und Windkraft bewegt sich damit zwischen 552 TWh bei der reinen Kesselheizung und 601 TWh bei Einsatz der „zentralen“ elektrischen Direktheizung. Im Fall der monovalenten Wärmepumpen werden 580 TWh erreicht (davon 200 TWh Photovoltaik und 380 TWh). Dies entspricht dem bereits im Zwischenbericht angesetzten Ausgangswert für die monovalenten Systeme. Es ist zu beachten, dass der Einsatz unterschiedlicher Wärmeversorgungssysteme bei der Heizungsmodernisierung auch hier nicht den gesamten Wohngebäudebestand, sondern wie im Zwischenbericht einen Anteil von 15 % des Bestandes betrifft.

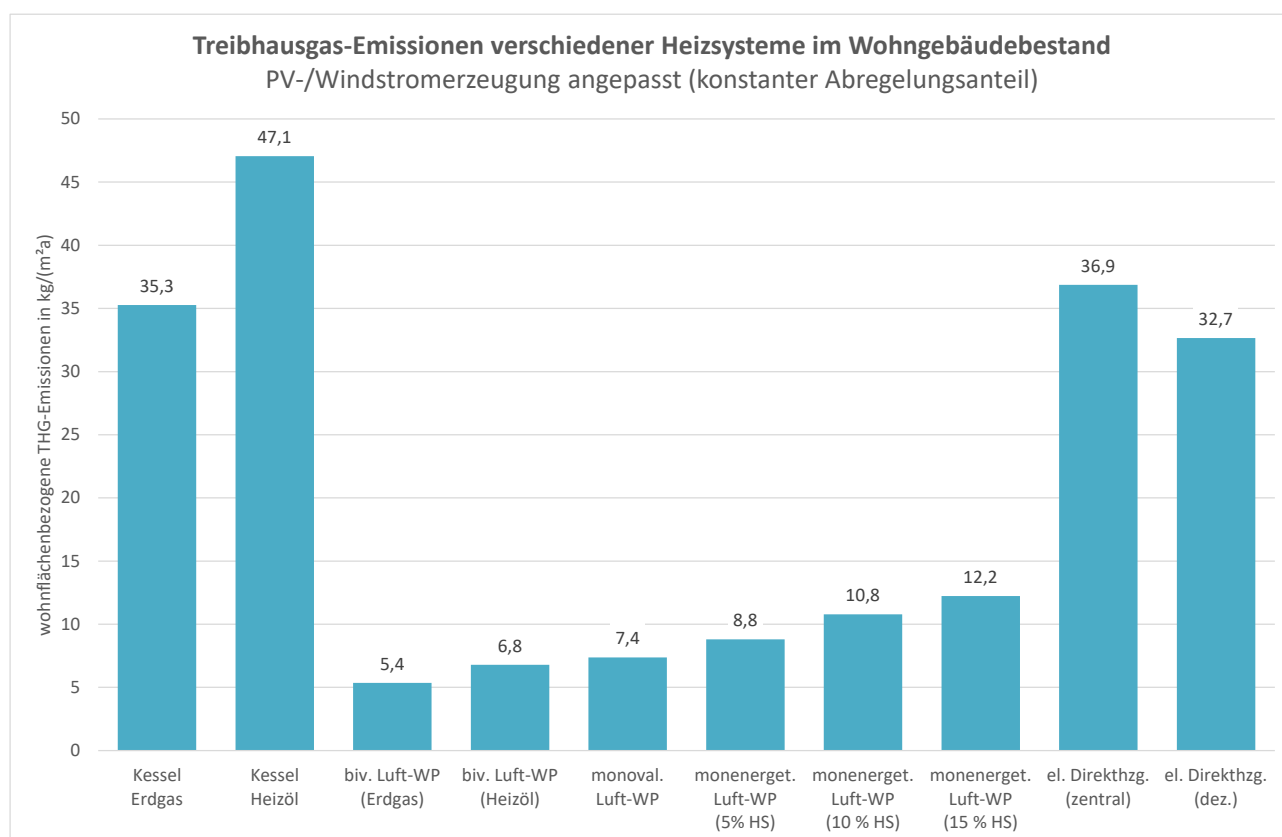
²⁷ Denkbar wäre der Einsatz eines elektrischen Energiespeichers als Ersatz für den thermischen Speicher. Dieser Fall konnte hier nicht näher untersucht werden.

betrachtet²⁸.

Auch bei der restlichen, nicht durch Solar- und Windstrom abgedeckten Stromerzeugung in Gaskraftwerken wird wie im Zwischenbericht die Verwendung von fossilem Erdgas angenommen. Mögliche zukünftige Wasserstoff-Kraftwerke werden hier also – insbesondere angesichts eines noch weitgehend ungeklärten Zeitplans für eine breitere Einführung – bei der Ermittlung der Treibhausgasemissionen in der Stromerzeugung nicht berücksichtigt.

Die aus den Untersuchungen abgeleiteten wohnflächenbezogenen Treibhausgasemissionen der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme sind in Bild 96 dargestellt.

Bild 96: Wohnflächenbezogene Treibhausgasemissionen verschiedener Wärmeversorgungstechnologien im Gebäudebestand in einem zukünftigen Energiesystem: Bewertung aufgrund der Analyse der Auswirkungen der verschiedenen Wärmeversorgungsoptionen auf die Emissionen im Gesamtsystem



Die wesentlichen Ergebnisse aus dem Zwischenbericht zeigen sich im Prinzip auch hier: Während mit Wärmepumpensystemen erhebliche CO₂-Reduktionen gegenüber der reinen Gas- oder Ölheizung erreicht werden können, schneidet die elektrische Direktheizung trotz des angenommenen hohen regenerativen Energieanteils in der Stromerzeugung weiterhin ungünstig ab. Zwar sind die Kennwerte aufgrund der zusätzlichen Betrachtung der dezentralen Erzeugung und wegen der gegenüber Wärmepumpen nochmals erhöhten Zubaus von Solar- und Windstrom günstiger als im Zwischenbericht. Relevante Einsparungen können aber insbesondere gegenüber dem Gaskessel weiterhin nicht erreicht werden. Verglichen mit den monovalenten Wärmepumpen liegen die Emissionswerte mehr als viermal so hoch.

²⁸ Bei den Wirtschaftlichkeitsanalysen in Kapitel 7 ist der Übergang zu solchen „grünen“ Brennstoffen in den zugrunde liegenden Szenarien dagegen mitberücksichtigt.

Monovalente und bivalente Wärmepumpen erweisen sich weiterhin als ungefähr gleichwertig bei den Treibhausgasemissionen. Der genauere Vergleich zeigt allerdings, dass die bivalenten Anlagen hier nun etwas günstiger abschneiden als die monovalenten: Selbst bei Kombination mit einem Ölkessel liegen die Emissionswerte mit $6,8 \text{ kg/m}^2\text{a}$ unter dem Wert der monovalenten Wärmepumpe mit $7,4 \text{ kg/m}^2\text{a}$. Die Analysen im Zwischenbericht hatten hier noch eine umgekehrte Reihenfolge gezeigt. Der Grund liegt darin, dass sich in der neuen Untersuchung zur Erreichung der gleichen Abregelungsquote für die Solar-/Windenergie bei den bivalenten Anlagen ein etwas höherer Zubau von Photovoltaik und Windenergie ergibt. In den vorherigen Analysen war dagegen mit den absolut gleichen Werten der regenerativen Stromerzeugung kalkuliert worden.

Für die neu hinzugekommenen monoenergetischen Wärmepumpen wurden Heizstab-Anteile an der Wärmeproduktion von 5 %, 10 % und 15 % untersucht. Die Auslegung der Wärmepumpen-Leistung zur Erreichung dieser Anteile erfolgte dabei in einer (hypothetischen) Untersuchung ohne Solar- und Windstromproduktion, um auf diese Weise einen für die Wärmebereitstellung notwendigen „rechnerischen“ Heizstabanteil an der Wärmeerzeugung zu ermitteln. Die tatsächlichen Heizstabanteile in den eigentlichen Simulationsuntersuchungen liegen höher, da die Heizstäbe in diesen Fällen nicht nur zur Gewährleistung der Wärmeversorgung dienen, sondern wie oben beschrieben außerdem zur Einspeicherung von überschüssigem, von den Wärmepumpen nicht mehr verwertbarem Solar- und Windstrom in den Wärmespeichern eingesetzt werden²⁹.

Erwartungsgemäß steigen die Treibhausgasemissionen mit zunehmendem Heizstabanteil (d. h. kleinerer Wärmepumpenleistung) merklich an. Bereits beim kleinsten „rechnerischen“ Heizstabanteil von 5 % liegen die Emissionen mit $8,8 \text{ kg/(m}^2\text{a)}$ um ca. 19 % über dem Wert der monovalenten Wärmepumpe. Beim Heizstabanteil von 15 % werden durch die monoenergetische Wärmepumpe rund 65 % mehr Treibhausgasemissionen verursacht³⁰. Trotz dieser gegenüber den monovalenten und bivalenten Wärmepumpen zu verzeichnenden deutlichen Mehremissionen sind die Einsparungen gegenüber der reinen Gas- oder Ölkesselversorgung immer noch gravierend.

Die Verwendung elektrischer Energie für die Gebäude-Wärmeversorgung führt nicht nur zu einem zusätzlichen Brennstoffverbrauch und zusätzlichen Treibhausgasemissionen bei der Stromerzeugung. Auch die erforderliche Leistung von flexibel einsetzbaren Kraftwerken (in den Modellanalysen: Gas-Kraftwerke), die zur Abdeckung des Leistungsbedarfs an den kältesten Wintertagen benötigt werden, erhöht sich.

Bild 97 zeigt den in den Simulationen ermittelten Mehrbedarf an elektrischer Kraftwerksleistung für die verschiedenen Wärmeversorgungsoptionen gegenüber dem Referenzfall (Wärmeversorgung über Heizkessel). Die Werte sind hier auf die Wohnfläche der von der Heizungserneuerung betroffenen Bestandsgebäude

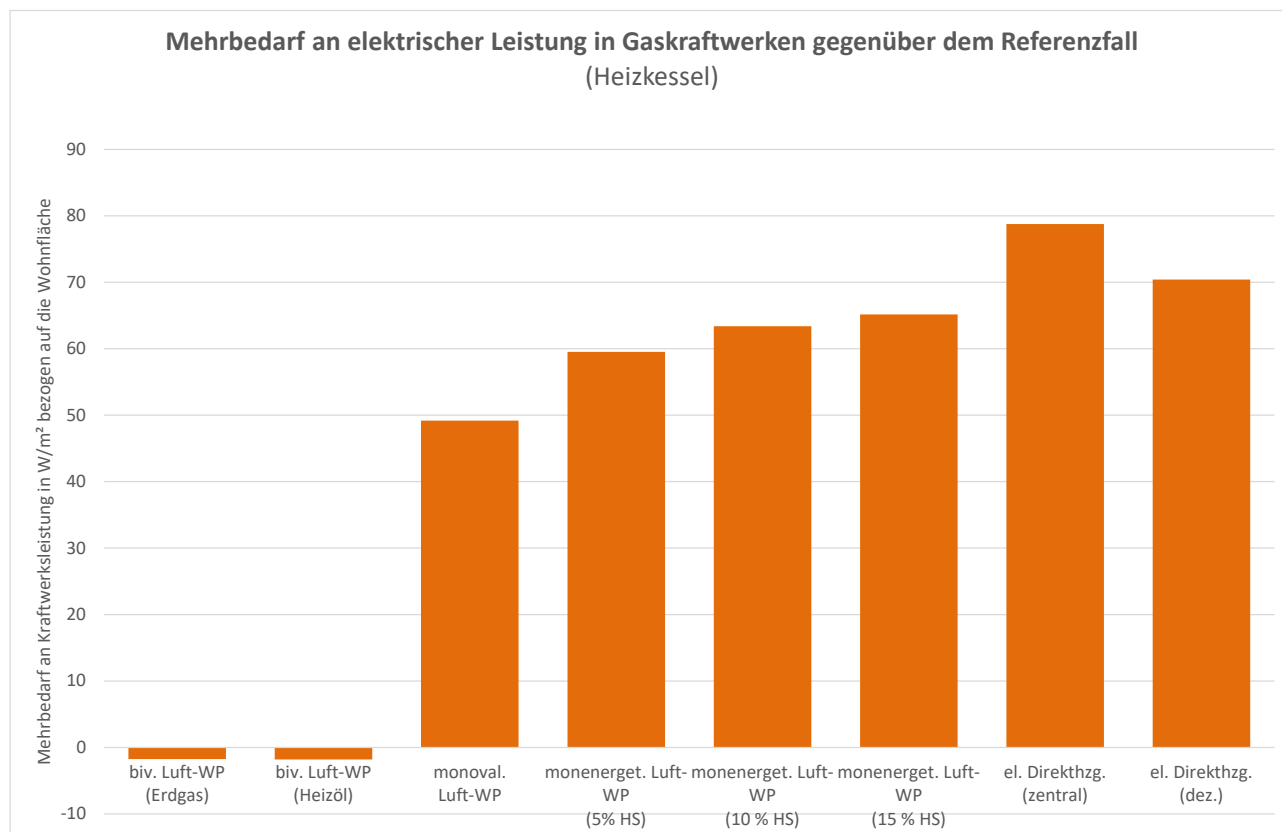
²⁹ Statt mit diesem „rechnerischen“ Heizstabanteil ließe sich die Klassifizierung auch über die Wärmepumpenleistung vornehmen: Diese beläuft sich auf 60 % der Leistung der monovalenten Wärmepumpe (Heizstabanteil 5 %), 45 % (Heizstabanteil 10 %) bzw. 38 % (Heizstabanteil 15 %). Der entsprechende Leistungsanteil der bivalenten Wärmepumpen wurde in beiden Betrachtungsfällen (d. h. sowohl für die Kombination mit dem Gas- als auch mit dem Ölkessel) auf 35 % eingestellt.

³⁰ Bei diesen aufgrund der Simulation im Gesamtsystem gewonnenen Resultate sind die Mehremissionen höher, als man nach einer ersten überschlägigen Abschätzung (vor dem Hintergrund eines gedachten einheitlichen Strommixes) möglicherweise erwarten würde: Die weiter oben genannte Jahresarbeitszahl von 2,92 im monovalenten Betrieb entspricht umgerechnet (als Kehrwert) einer Aufwandszahl von 0,342. Bei 85-prozentigem Wärmepumpenanteil und 15-prozentigem Heizstabanteil (Aufwandszahl: 1) ergibt sich ein rechnerischer Schätzwert von $0,85 \times 0,342 + 0,15 = 0,44$ für die Aufwandszahl der monoenergetischen Wärmepumpe. Dieser Wert liegt also nur um knapp 30 % über dem Ausgangswert, so dass (bei Annahme des gleichen durchschnittlichen Emissionsfaktors im Strommix) in einer solchen Kalkulation der Anstieg der Treibhausgasemissionen ebenfalls nur 30 % betragen sollte, und nicht wie in der Simulation ermittelt 65 %. Der Einsatz der monoenergetischen Systeme führt demnach im Gesamtsystem zu einem insgesamt ungünstigeren Verlauf bei der Stromerzeugung, d. h. zu einem relativ verstärkten Einsatz brennstoffbetriebener Kraftwerke und damit zu einem insgesamt ungünstigeren „Strommix“ als im Fall der monovalenten Wärmepumpenauslegung.

Eine ähnliche Abschätzung lässt sich auch für den Vergleich der direktelektrischen Stromerzeugung mit der monovalenten Wärmepumpe durchführen (Aufwandszahl 1 gegenüber 0,342): Die Emissionen der elektrischen Direktheizung sollten nach diesem Ansatz selbst in der zentralen Variante nur knapp dreimal so hoch liegen wie bei der monovalenten Wärmepumpe. Tatsächlich liegen sie entsprechend der Simulation und Bewertung im Gesamtsystem fünfmal so hoch ($36,9$ gegenüber $7,4 \text{ kg/m}^2\text{a}$). Die unterschiedlichen Konsequenzen der beiden Ansätze „Bewertung mit durchschnittlichem Strommix“ bzw. „Bewertung im Gesamtsystem“ werden hier noch einmal deutlich.

(15 % des Wohngebäudebestands) bezogen. Die Analysen wurden in Stundenschritten durchgeführt, angegeben ist der in der Jahressimulation maximal aufgetretene Stundenwert.

Bild 97: Elektrischer Leistungs-Mehrbedarf von Gaskraftwerken bei Verwendung unterschiedlicher Wärmeversorgungssysteme gegenüber dem Referenzsystem (Heizkessel): Ergebnisse der Simulationsanalysen (Stundenwerte) bezogen auf die Wohnfläche der untersuchten Bestandsgebäude mit Heizungserneuerung



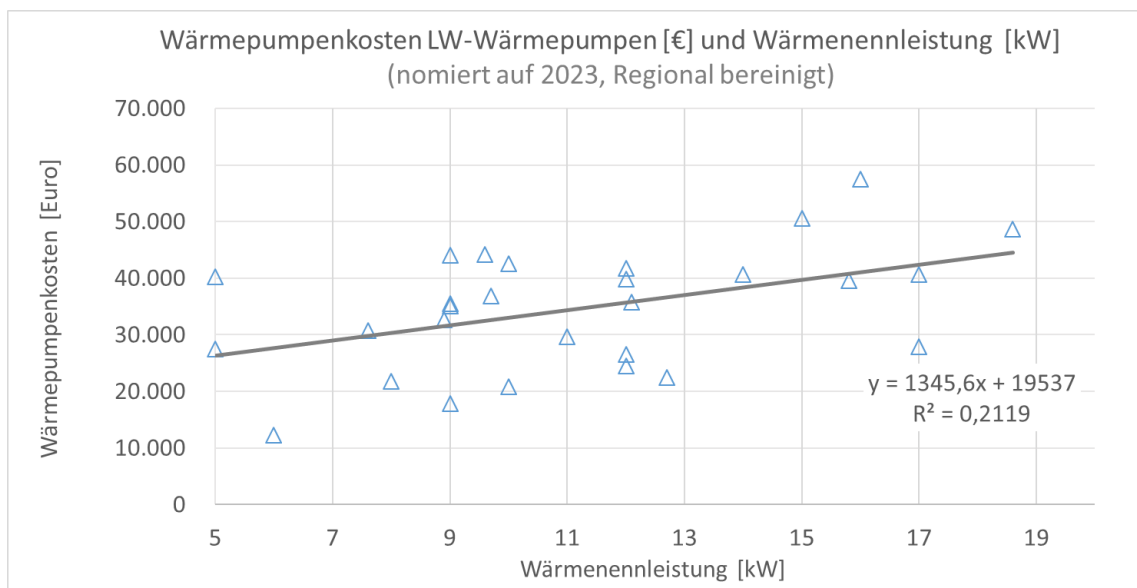
Im Fall der bivalenten Wärmepumpen zeigt sich gegenüber den Heizkesseln eine (wenn auch sehr geringe) Einsparung von Kraftwerksleistung: Der annahmegemäß auch mit diesen Anlagen verbundene Zubau von Photovoltaik- und Windkraft gegenüber der reinen Heizkesselversorgung führt hier also – trotz des Auftretens von Wärmepumpen als zusätzliche Stromverbraucher – zu einer leichten Reduzierung der Leistung bei den Gaskraftwerken. Die Möglichkeit, die erforderliche thermische Leistung in den Gebäuden bedarfsweise durch die ergänzenden Heizkessel bereitzustellen, macht sich also auch hier wiederum positiv bemerkbar. Die anderen Heizsysteme mit Nutzung elektrischer Energie führen dagegen zu einem merklichen Leistungsmehrbedarf, der erwartungsgemäß bei den monovalenten Wärmepumpen (mit rund 50 W/m²) am niedrigsten liegt und mit steigendem Anteil der direktelektrischen Wärmebereitstellung über Heizstäbe auf ca. 60 – 65 W/m² bei den monoenergetischen Wärmepumpen bis hin zu 70 – 80 W/m² bei der rein elektrischen Wärmeerzeugung ansteigt.

7 Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen

7.1 Investitionskosten von Wärmepumpen

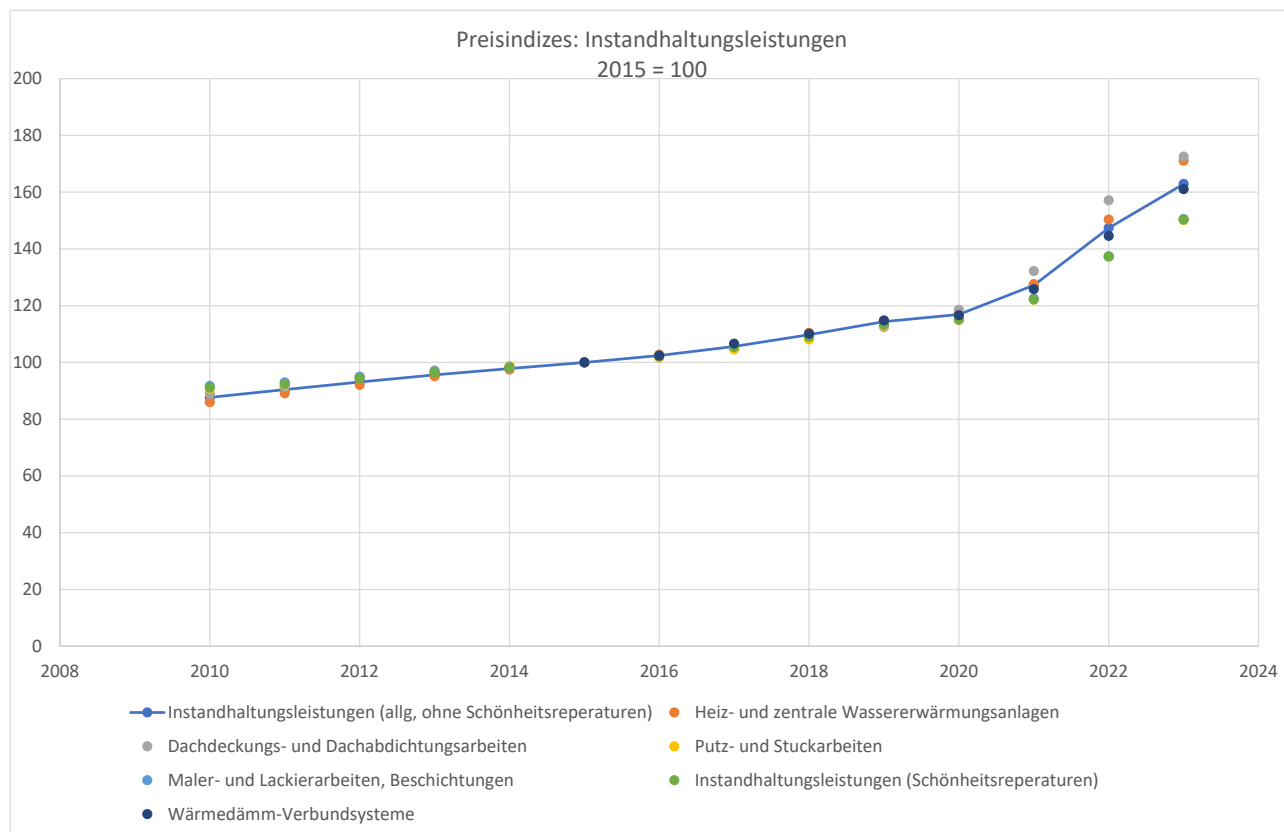
Im Zuge der in Kapitel 3.4 dokumentierten Ergebnisse der Felduntersuchung wurden auch die Anlagenkosten ausgewertet. Bild 98 zeigt hier noch einmal die Ergebnisse aus Kapitel 3.4 (Bild 57) für die Luft-Wasser-Wärmepumpen (Gesamtkosten inklusive Montage) in Abhängigkeit der Wärmepumpenleistung sowie die daraus per linearer Regressionsanalyse abgeleitete Kostenfunktion.

Bild 98: Wärmepumpenkosten LW-Wärmepumpen aufgetragen über der Wärmenennleistung (Kosten inkl. MwSt. auf Preisstand 2023 normiert und mit Regionalfaktoren bereinigt)



Auffällig ist eine individuell starke Streuung der Kostenkennwerte: Die tatsächlichen Kosten sind also sehr vom Einzelfall abhängig. Erkennbar ist weiterhin ein deutlicher Anstieg der Kosten mit der Anlagenleistung. Dieser spiegelt sich auch in einer positiven Steigung der Kostenkurve wider, deren Zahlenwert allerdings angesichts der streuenden Einzelwerte ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet ist.

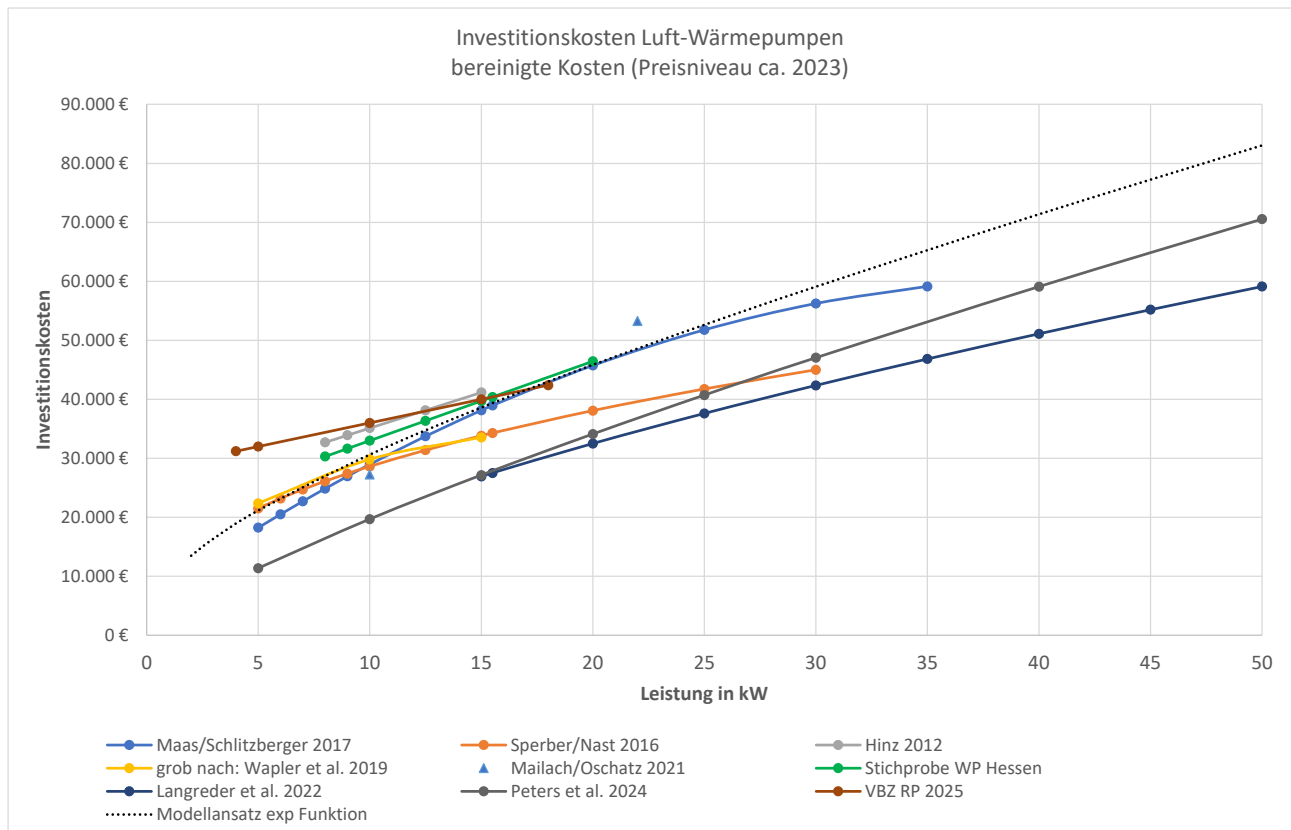
Parallel zu den Auswertungen im Feldtest wurden auch Kostendaten anderer Quellen gesichtet und ausgewertet. Im Fall älterer Quellen wurden die Kosten mit Hilfe des Baupreisindex für „Instandhaltungsleistungen bei Heiz- und zentralen Warmwasseranlagen“ des Statistischen Bundesamtes [Destatis 2024] auf das Preisniveau 2023 umgerechnet. Bild 99 zeigt verschiedene Preisindizes für Instandhaltungsleistungen im Vergleich.

Bild 99: Preisindizes für Instandhaltungsleistungen 2010-2023 [Destatis 2024]

Es ist zu erkennen, dass etwa ab 2021 ein starker Anstieg der Baupreise für Instandhaltungsleistungen stattgefunden hat. Der allgemeine Preisindex für Instandhaltung ist dabei als durchgezogene blaue Linie eingetragen. Der hier verwendete Index für Heiz- und zentrale Wassererwärmungsanlagen (orange) verläuft weitgehend parallel, weicht allerdings insbesondere in den letzten beiden Jahren 2022/23 etwas nach oben ab.

Die Ergebnisse für die Kosten von Luft-Wasser-Wärmepumpen sind in Bild 100 dargestellt. Angegeben sind die Gesamt-Investitionskosten inklusive Installation der Anlagen.

Bild 100: Investitionskosten (mit Einbau) für Luft-Wasser-Wärmepumpen (Preisniveau ca. 2023, inkl. MwSt.)



Für die Auswertung wurden verschiedene Studien zu den Kosten von Wärmepumpen und Heizanlagen im Bestand und Neubau herangezogen (siehe Literaturhinweise in der Grafik). In einigen Fällen waren teils ergänzende und vereinfachende Annahmen notwendig, um die in den Studien dokumentierten Zahlen für die hier durchgeführte Auswertung der Kosten in Abhängigkeit von der Wärmeleistung der Anlage verfügbar zu machen. Im Fall der empirischen Kostenerhebung in [Wapler et al. 2019, Anhang 4 zu Wärmepumpen, Abb. A4-10] wurde das Kostenniveau sehr grob aus einer Abbildung ausgelesen, die eine Vielzahl von Kostenpunkten für Einzelanlagen enthielt, ohne dass eine genauere Analyse möglich war. Als Bezugsjahr der Kosten für die Umrechnung mit dem Preisindex wurde das Erscheinungsjahr der jeweiligen Studie verwendet, sofern keine genaueren Angaben vorlagen.

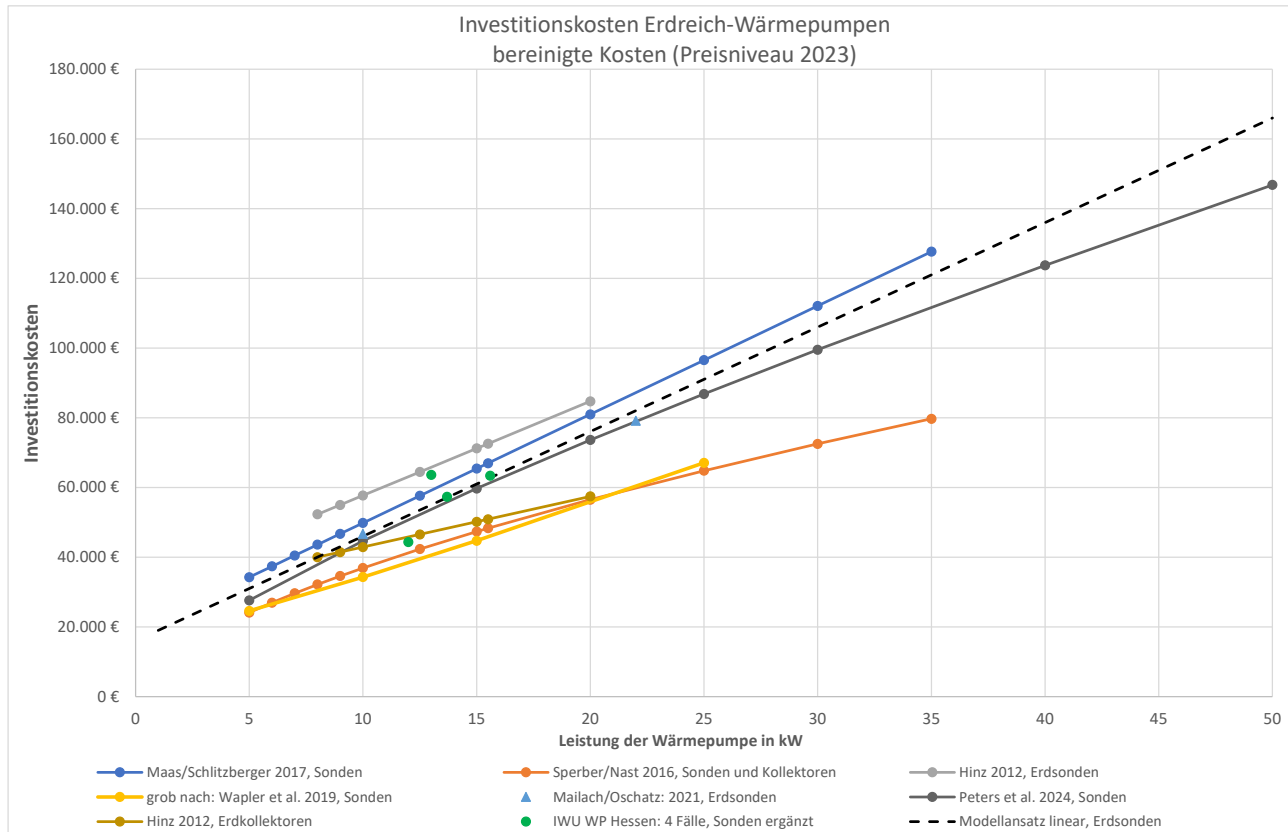
Es ist insgesamt zu erkennen, dass die einzelnen Quellen trotz der Kostenbereinigung über den Preisindex teils sehr unterschiedliche Kostenniveaus widerspiegeln. Das Ergebnis der Felduntersuchung (Regressionsgerade aus Bild 98) ist als grüne Kurve mit eingetragen und liegt eher im oberen Bereich des Kostenspektrums. Dies gilt auch für die aktuellste ausgewertete Quelle [VBZ RP 2025], eine Analyse von Angeboten des Handwerks zur Installation von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Ein-/Zweifamilienhäusern in Rheinland-Pfalz im Zeitraum Herbst 2024/Frühjahr 2025. Es wurden hier die Originalkostendaten (ohne Rückrechnung auf 2023) betrachtet. Die in Bild 100 eingetragene Ausgleichsgerade wurde grob aus der in der Originalquelle gezeigten Abbildung ermittelt. Bei der Interpretation ist außerdem zu berücksichtigen, dass Angebotsdaten nicht immer mit den tatsächlichen Preisen identisch sind und dass auch hier die für empirische Kostendaten typische starke Streuung der Einzelwerte auftritt, so dass der dargestellte Kurvenverlauf wiederum im Detail als unsicher anzusehen ist.

Für die weiteren Berechnungen wurde der folgende Modellansatz für die Investitionskosten einer Luft-Wasser-Wärmepumpe gewählt, der ebenfalls eher im oberen Bereich des dargestellten Kostenspektrums und relativ nahe an der Kurve aus dem Feldtest verläuft (schwarze gestrichelte Linie):

$$K_I = 9.000 \text{ €} \times P_{th}^{0,4} + 800 \text{ €/kW} \times P_{th}$$

Im Fall der Erdreich-Wärmepumpen wurde eine entsprechende Auswertung durchgeführt. Das Ergebnis ist in Bild 101 dargestellt.

Bild 101: Investitionskosten (mit Einbau) für Erdreich-Wärmepumpen inklusive Erschließung der Wärmequelle (Preisniveau ca. 2023, inkl. MwSt.)



In den ausgewerteten Quellen wurden Wärmepumpen zum Teil mit Erdsonden, zum Teil mit Erdkollektoren verwendet (siehe Hinweis in der Legende zu den einzelnen Kurven).

Der Modellansatz, der sich auf Anlagen mit Erdsonden bezieht, liegt auch hier im oberen Kostenbereich:

$$K_I = 3.000 \text{ €/kW} \times P_{th} + 16.000 \text{ €}$$

Bei den vier Fällen aus der Felduntersuchung (grüne Punkte) handelt es sich ebenfalls um Erdsonden-Anlagen. Die Kosten der Wärmepumpenaggregate wurden direkt aus der Felduntersuchung übernommen (s. Kapitel 3.4), die zusätzlichen Kosten der Erdsonden in geschätzter Höhe von 1.700 €/kW ergänzt (inkl. MwSt, Preisniveau 2023)

Für die separate Schätzung der Erdsondenkosten wurden Angaben aus verschiedenen Studien zugrunde gelegt, die ebenfalls eine größere Spanne aufweisen aber zumindest grob (und nach Korrektur mit dem Preisindex) Kosten in dieser Größenordnung aufzeigen. Insbesondere für [Wapler et al. 2019] wurde hierfür wiederum eine Grafik mit Einzelkostenpunkten sehr überschlägig ausgewertet, aus der sich ungefähr ein Niveau von 1.500 €/kW ergibt (umgerechnet auf das Preisniveau 2023). Nach [Maas 2017] wären dagegen etwa 1.900 €/kW zu erwarten (ebenfalls umgerechnet auf 2023). Der genannte Schätzwert von 1.700 €/kW liegt in der Mitte zwischen diesen beiden Ergebnissen.

7.2 Ansätze für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeit der Installation verschiedener Wärmepumpensysteme wird hier für die bereits in Kapitel 4 beschriebenen Modellgebäude, also ein Ein- und ein Mehrfamilienhaus, durchgeführt. Verglichen werden verschiedene Konfigurationen von Wärmepumpensystemen (mit Luft-Wasser-Wärmepumpe) sowie die Beibehaltung einer reinen Heizkessel-Heizung. Die Betrachtung wird dabei auf den Energieträger Heizöl beschränkt: Dieser insbesondere in ländlichen Räumen in Hessen typische Fall bildete im vorliegenden Projekt einen Schwerpunkt der Untersuchungen. Die zugrunde liegenden Energiebilanzberechnungen wurden wiederum mit dem Programm PolySun durchgeführt (siehe Anhang C). Gegenüber den Ergebnissen im Zwischenbericht und Kapitel 4 wurden die Berechnungen noch einmal aktualisiert:

- Das Spektrum der untersuchten Varianten wurde um weitere Fälle für monoenergetische und bivalente Systeme mit unterschiedlicher Leistungsauslegung ergänzt. Angesichts des bisher mit 16 % relativ hohen Heizstabsanteils im unmodernisierten Einfamilienhaus sollten hier nun insbesondere bei der monoenergetischen Wärmepumpe auch Fälle mit geringerem Deckungsgrad des Heizstabs berücksichtigt werden.
- Um die Zahl der Untersuchungsvarianten zu begrenzen, wurde bei monovalenten und monoenergetischen Wärmepumpen ausschließlich die Anlagenkonfiguration M1 und bei bivalenten Systemen die Konfiguration B4 betrachtet, die sich in den vorherigen Untersuchungen als günstig erwiesen hatten und die gleichzeitig als vergleichsweise einfach und praxisgerecht gelten können. Im Hinblick auf den Gebäude-Wärmeschutz wurden statt vorher vier nur noch drei Fälle betrachtet, nämlich „unsaniert“, „teilsaniert“ (vorherige Bezeichnung: „TS2“: Dach- und Kellerdeckendämmung, Fensteraustausch) und „vollsaniert“ (zusätzlich mit Dämmung der Außenwand) ³¹.
- Die Effizienzwerte von Wärmepumpe und Heizkessel sowie die regelungstechnischen Einstellungen wurden bei den Simulationsläufen noch einmal neu justiert. Bei der Wärmepumpe wurde eine geringere Effizienz angenommen, so dass sich nun, in Übereinstimmung mit den im Feldtest (vgl. Kapitel 5.3) ³² ermittelten Mittelwerten im monovalenten Betrieb eine Jahresarbeitszahl von ungefähr 2,85 ergibt. Demgegenüber wurde für den Öl-Heizkessel eine verbesserte Effizienz angenommen (Jahresnutzungsgrad: 92 % bei alleiniger Kesselheizung)

Als Rahmendaten der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden eine Nutzungsdauer der Heizsysteme von 20 Jahren (= Betrachtungszeitraum) und ein Realzinssatz von 2 % angenommen. Die wirtschaftliche Bewertung erfolgt anhand des Barwerts der Gesamtkosten, d. h. der Summe aus den Investitionskosten für das Heizsystem im Ausgangsjahr der Betrachtung (2025) und dem auf dieses Ausgangsjahr zurückgerechneten Barwert der zukünftigen jährlichen Kosten (Wartungs- und Energiekosten) im Betrachtungszeitraum. Die Kostenangaben sind auch im vorliegenden Kapitel immer inklusive Mehrwertsteuer zu verstehen.

Für die Investitionskosten der Wärmepumpe wird die leistungsabhängige Modellkurve aus Kapitel 7.1 angenommen. Die entsprechende Kostenkurve für den Öl-Heizkessel ist abhängig von der thermischen Kesselleistung P_{th} , sie wird gemäß [Diefenbach et al. 2025, Anhang A] wie folgt angesetzt:

$$K_i = 300 \text{ €/kW} \cdot P_{th} + 11.000 \text{ €}$$

Die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten werden bei der Wärmepumpe vereinfachend zu 1 % und beim Heizkessel zu 2 % der Investitionskosten angenommen.

Wie in den bisherigen Analysen wird im vorliegenden Fall davon ausgegangen, dass die Heizkörper auch im

³¹ Zur Vergleichbarkeit mit den Analysen des Zwischenberichts wurden auch hier wiederum U-Werte (Wärmedurchgangskoeffizienten) bei der Modernisierung angesetzt, die etwas unter den heute üblichen Werten liegen. Es werden also eher „nicht optimale“ Sanierungsfälle abgebildet, bei denen Restriktionen für höhere Dämmstoffdicken vorliegen, besondere Wärmebrücken auftreten oder die jeweiligen Flächen nicht ganz vollständig gedämmt werden können, so dass der Heizwärmebedarf am Ende etwas höher liegt als bei einer idealen Sanierung nach heutigen Standards. Dennoch werden auch hier z. B. beim Einfamilienhaus Einsparungen von gut 40 % beim Gesamt-Wärmeverbrauch (inklusive Warmwasser) erreicht (vgl. Tabelle 19 auf S. 148).

³² Siehe dort die für Heizkörper typischen Fälle mit Vorlauftemperaturen ab 45 °C.

unsanierten Gebäude für den Wärmepumpenbetrieb ausreichend groß dimensioniert sind, so dass auf einen Heizkörperaustausch verzichtet werden kann und diesbezüglich keine Kosten entstehen.

Bei bivalenten Wärmepumpen werden die Kosten der (kleiner dimensionierten) Wärmepumpe und des (auf die volle Gebäude-Heizleistung ausgelegten) Heizkessels addiert. Im Fall von monoenergetischen Wärmepumpen werden lediglich die Wärmepumpenkosten (je nach Anlagenleistung) berücksichtigt, die Investitionskosten für den ergänzenden Heizstab werden vernachlässigt.

Generell ist zu beachten, dass die Investitionskostenansätze der Heizsysteme nur ein sehr grobes Bild zeichnen können: Die starke Streuung der Einzelwerte bei empirischen Auswertungen zeigt, dass die Kosten sehr stark von der individuellen Situation abhängen. Dies gilt für das Niveau der Gesamtkosten ebenso wie für die leistungsabhängigen Kosten, die für den Vergleich von Wärmepumpen unterschiedlicher Leistung, also insbesondere von monovalenten, monoenergetischen und bivalenten Systemen ausschlaggebend sind.

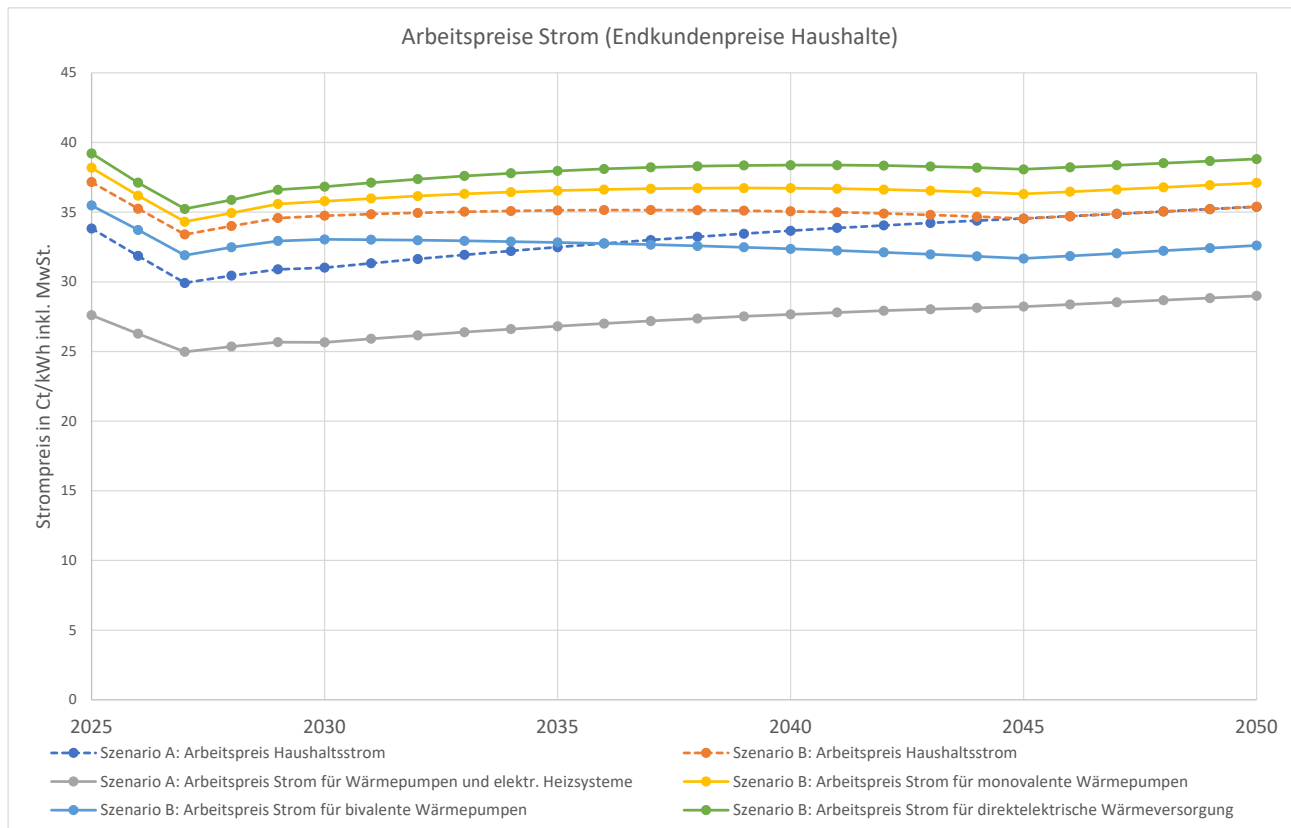
Weitere sehr erhebliche Unsicherheiten bestehen bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Energiekosten. Die folgenden Analysen lehnen sich diesbezüglich an die Ansätze und Ergebnisse aus [Diefenbach et al. 2025] an: Generell wird im Einklang mit den Zielen des Bundes-Klimaschutzgesetzes davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums der nächsten 20 Jahre eine klimaneutrale Wärmeversorgung in Deutschland erreicht werden kann. Das heißt, dass ab 2045 weder bei der Verwendung von elektrischem Strom noch bei Einsatz von Brennstoffen klimaschädliche Emissionen entstehen. Der Übergangszeitraum ist durch weiter sinkende CO₂-Emissionsfaktoren bei der Stromerzeugung und zunehmende Anteile „grüner“ (d. h. quasi klimaneutraler) Brennstoffe gekennzeichnet. Bei Verwendung flüssiger Brennstoffe (wie im Fall des Ölkessels in der vorliegenden Untersuchung) findet ein allmählicher Wechsel vom Heizöl erst zu „Übergangsbrennstoffen“ (aus Biomasse) bzw. langfristig zu synthetisch aus Solar- und Windenergie erzeugten „E-Fuels“ statt. Gleichzeitig ist für die verbleibenden fossilen Heizöl-Anteile mit einer steigenden CO₂-Bepreisung zu rechnen. Der Verlauf der Energiepreise hängt insgesamt sehr stark von den konkreten politischen Weichenstellungen ab, die in diesem Transformationsprozess getätigt werden. Vor diesem Hintergrund wurden in [Diefenbach et al. 2025] zwei Szenarien für die Energiepreisentwicklung definiert und analysiert:

- In **Szenario A** wird davon ausgegangen, dass die Randbedingungen stark in Richtung auf eine rein elektrische Wärmeversorgung mit vergleichsweise niedrigen elektrischen Energiepreisen ausgerichtet werden.
- In **Szenario B** wird demgegenüber angenommen, dass die Energiepreisentwicklung im Vergleich zu Ansatz A weniger günstig für die elektrische Wärmeversorgung und optimistischer aus Sicht der grünen Brennstoffe verläuft. Insbesondere werden hier monovalente und monoenergetische elektrische Wärmepumpen mit zusätzlichen Kosten belastet, die aufgrund einer (im Vergleich zum allgemeinen Strommix) stärkeren Inanspruchnahme der Energie- und Leistungsbereitstellung aus brennstoffbetriebenen Kraftwerken entstehen.

Das Ziel der Definition dieser beiden Szenarien liegt darin, eine plausible Spannbreite für die denkbare Zukunftsentwicklung aufzuzeigen. Dabei ist zu konstatieren, dass die aktuelle Rahmensetzung am ehesten Szenario A folgt, so dass Argumente bestehen, diesem Szenario womöglich eine höhere Wahrscheinlichkeit einzuräumen. Ein Übergang zu Szenario B erscheint demgegenüber aktuell nicht konkret absehbar, aber gleichwohl möglich und auch nicht unplausibel. Vor diesem Hintergrund wird hinsichtlich der Gewichtung der Relevanz der beiden Szenarien an dieser Stelle keine Festlegung getroffen.

Die resultierenden Annahmen für den Stromarbeitspreis für Haushaltskunden sind in Bild 102 dargestellt.

Bild 102: Modellansätze für den Arbeitspreis für elektrischen Strom zur Wärmeherzeugung sowie für den sonstigen Haushaltsstrom in den Szenarien A und B (Realwerte inkl. MwSt. aus [Diefenbach et al. 2025])



In Szenario A wird von einem mittleren Strommix ausgegangen, darüber hinaus von verringerten Netzentgelten für alle Heizsysteme, die elektrische Energie zur Wärmeversorgung nutzen. In Szenario B werden dagegen keine verringerten Netzentgelte angenommen. Außerdem wird in diesem Szenario von der Einführung dynamischer (d. h. zeitlich variabler, vom Angebot erneuerbarer Energien abhängiger) Stromtarife ausgegangen. Aufgrund des unterschiedlichen Strommix, den monovalente und bivalente Wärmepumpen sowie direktelektrische Heizsysteme in einer zukünftigen Energiewirtschaft beanspruchen, ergeben sich dadurch unterschiedliche Arbeitspreise je nach Heizsystem.

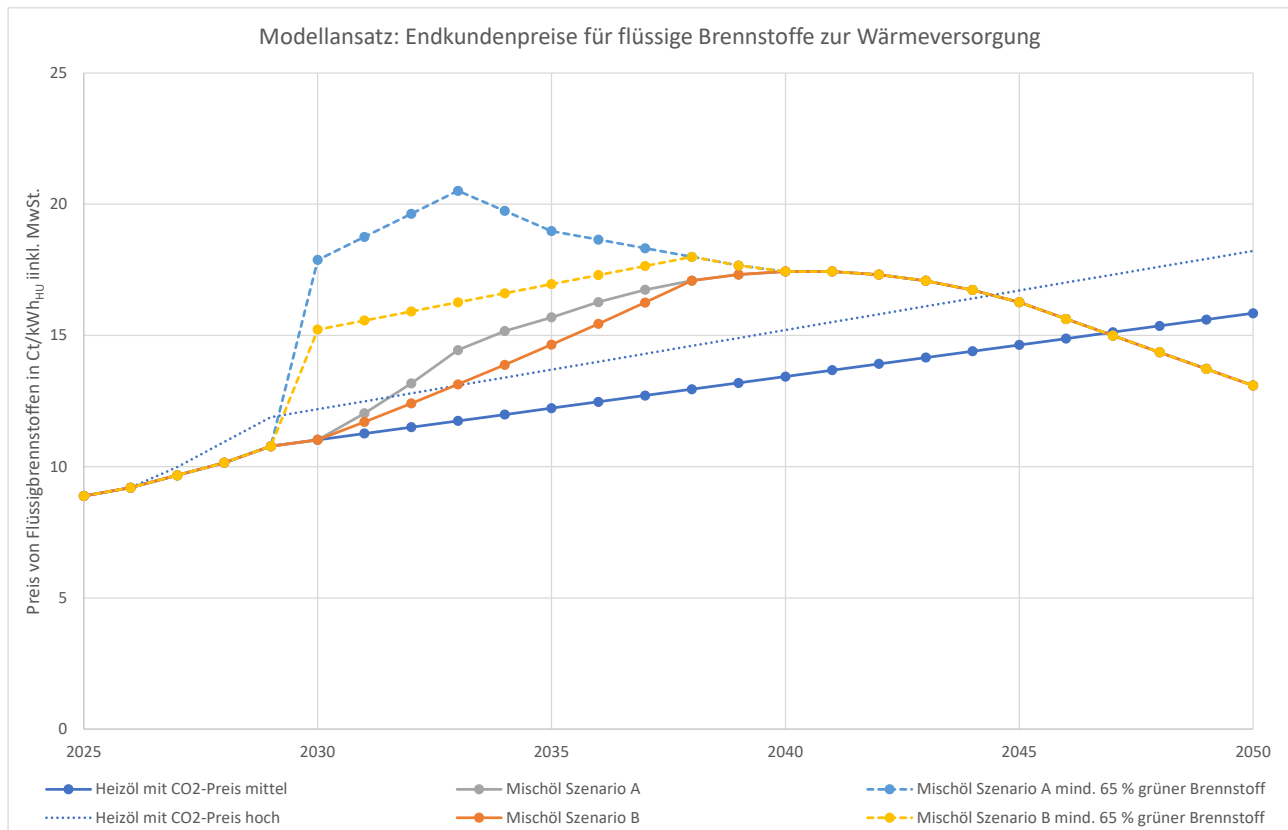
In Szenario B wird außerdem angenommen, dass für elektrische Wärmeversorgungssysteme ohne begleitenden Heizkessel eine zusätzliche leistungsbezogene Komponente beim Stromnetzentgelt erhoben wird, die den Mehrbedarf an elektrischer Kraftwerksleistung für diese Systeme widerspiegelt. Diese Preiskomponente ist nicht Teil des Arbeitspreises und in der Abbildung daher noch nicht mitberücksichtigt. Sie beträgt – umgerechnet auf den Gebäude-Heizleistungsbedarf bei typischer Anlageneffizienz im Bestand – bei monovalenten Luft-Wasser-Wärmepumpen 40 €/kW_{th,a}. Im Fall bivalenter Wärmepumpen fallen diese Zusatzkosten nicht an, da hier der ergänzende Heizkessel die notwendige thermische Leistung an den kältesten Wintertagen bereitstellen kann.

Monoenergetische Wärmepumpen wurden in den Szenarien in [Diefenbach et al. 2025] nicht berücksichtigt, in der vorliegenden Untersuchung werden daher im Szenario B vereinfachend sowohl bezüglich Strommix und Stromarbeitspreis als auch für den zuletzt genannten Leistungspreis die Ansätze für monovalente Wärmepumpen verwendet. Vor dem Hintergrund der Untersuchungen aus Kapitel 6.2, die für monoenergetische

Wärmepumpen gegenüber monovalenten Anlagen ungünstigere Ergebnisse für den Strommix³³ und den elektrischen Leistungsbedarf aufgezeigt hatten, ist also zu beachten, dass diese Vereinfachung im Szenario B hinsichtlich der Bewertung monoenergetischer Wärmepumpen als „tendenziell optimistisch“ anzusehen sind. In Szenario A wird demgegenüber wie beschrieben ohnehin von einheitlichen Strompreisansätzen für alle Wärmeversorgungssysteme ausgegangen.

Die Annahmen zum zukünftigen Verlauf der Preise für flüssige Brennstoffe sind in Bild 103 dargestellt.

Bild 103: Modellansätze für die Endkundenpreise flüssiger Brennstoffe (Realpreise inkl. MwSt. bezogen auf den Heizwert aus [Diefenbach et al. 2025])



In beiden Szenarien A und B wird davon ausgegangen, dass durch geeignete Rahmensetzungen der Anteil der grünen Brennstoffe für alle Verbraucher ab 2030 linear von Null auf 100 % im Jahr 2045 erhöht wird, so dass jeweils der Preisverlauf „Mischöl“ maßgeblich ist. Bei Erneuerung des Heizkessels ist darüber hinaus das Gebäude-Energie-Gesetz zu beachten, das – in dem Fall, dass der Heizkessel die Wärmeversorgung weiterhin allein übernimmt – mit Übergangsfristen eine mindestens 65-prozentige Verwendung grüner Gase vorsieht. In diesem Fall werden die Kurven mit der Bezeichnung „mind. 65 % grüner Brennstoff“ verwendet.

Für den Preisanstieg bei den flüssigen Brennstoffen ist neben dem Übergang zu klimaneutralen Brennstoffen auch die CO₂-Bepreisung (bei den bis 2045 noch genutzten fossilen Heizölanteilen) verantwortlich. Der besonders starke Anstieg der Kurven insbesondere in Szenario A resultiert aus der Annahme, dass aufgrund generell steigender Nachfrage nach grünen Übergangsbrennstoffen eine Knappheit und daher ein

³³ Die in Kapitel 6.2 ausgewiesenen höheren Treibhausgasemissionswerte sind auf eine stärkere Inanspruchnahme von brennstoffbetriebenen Kraftwerken zurückzuführen. Gemäß den Untersuchungen in [Diefenbach et al. 2025] erhöht sich damit im Fall dynamischer Stromtarife auch der mittlere Strompreis.

erheblicher Preisanstieg auftritt, der erst durch die allmählich eintretende Markteinführung von E-Fuels wieder reduziert wird.

Ein großer Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von elektrischen Wärmepumpenheizungen ergibt sich aus der Inanspruchnahme von Fördermitteln. Aktuelle Fördersätze in der „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ bewegen sich im Bereich von 30 % und 70 %. In der vorliegenden Studie werden pauschal 50 % angenommen.

7.3 Analyse für das Einfamilienhaus

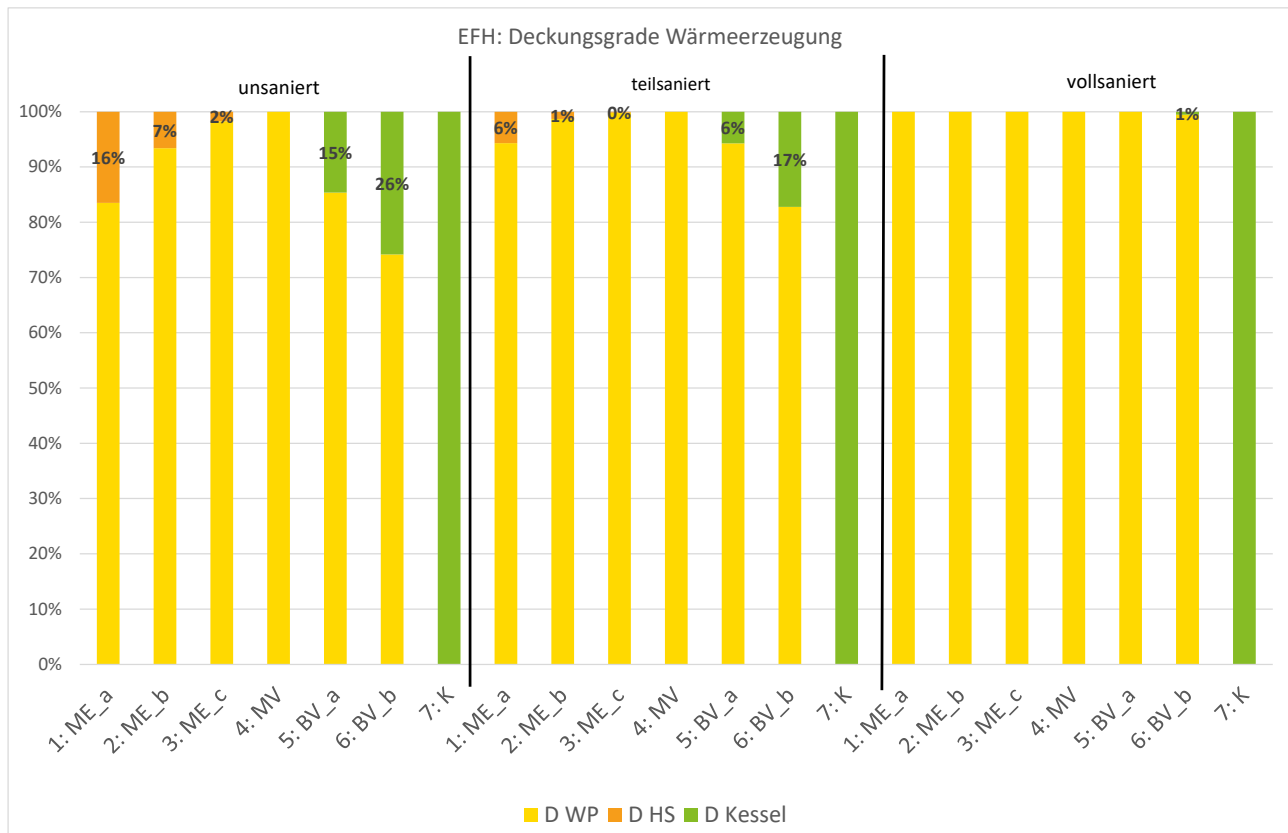
Im Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 138 m² werden sieben Heizsystemvarianten betrachtet, die jeweils auch die Warmwasserbereitung übernehmen. Ausgangspunkt der Untersuchungen und der Systembezeichnungen ist das unsanierte Gebäude (vor Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen). In der Untersuchung wird vorausgesetzt, dass der Einbau der neuen Heizung in diesem Zustand erfolgt. Im Hinblick auf die Frage, ob und wann der Wärmeschutz verbessert wird, werden verschiedene Varianten betrachtet (s. u.). Im Einzelnen werden die folgenden Wärmeversorgungsoptionen berücksichtigt:

1. **ME_a: Kleine monoenergetische Wärmepumpe**
Diese bildete die Grundlage für die Wärmepumpenauslegung im Zwischenbericht: Die thermische Wärmepumpenleistung ist mit 8,9 kW so bemessen, dass im später vollsanierten Gebäude ein monovalenter Betrieb gerade möglich ist. Im Ausgangsfall des unsanierten Gebäudes ergibt sich auf diese Weise dagegen ein monoenergetischer Betrieb mit einem relativ großen Deckungsgrad des elektrischen Heizstabs an der Wärmeerzeugung in Höhe von 16 %.
2. **ME_b: Mittlere monoenergetische Wärmepumpe**
Die thermische Leistung der elektrischen Wärmepumpe ist hier auf 10,4 kW erhöht, der Deckungsanteil des Heizstabs wird damit im unsanierten Gebäude auf 7 % reduziert.
3. **ME_c: Große monoenergetische Wärmepumpe**
Die Leistung der Wärmepumpe beträgt hier 13,4 kW, der Heizstab-Deckungsanteil damit nur noch rund 2 %.
4. **MV: Monovalente Wärmepumpe**
Mit einer thermischen Wärmepumpenleistung von 17,8 kW wird hier der monovalente Betrieb bereits im unsanierten Gebäude ermöglicht.
5. **BV_a: Größere bivalente Wärmepumpe**
Die Wärmepumpenleistung beträgt 8,9 kW und entspricht damit genau dem Fall 1: ME_a. Allerdings wird der verbleibende Heizwärmebedarf nicht durch einen elektrischen Heizstab, sondern durch einen Ölkessel gedeckt. Dessen Deckungsanteil beträgt im unsanierten Gebäude rund 15 %.
6. **BV_b: Kleinere bivalente Wärmepumpe**
Da bei bivalenten Wärmepumpen auch noch größere Heizkessel-Deckungsgrade als typisch gelten können, wurde hier ein weiterer Fall mit reduzierter Wärmepumpenleistung (7,1 kW thermisch) untersucht. Der Deckungsgrad des Heizkessels beträgt in diesem Fall 26 %.
7. **K: Heizöl-Kessel**
In der letzten Untersuchungsvariante erfolgt die Wärmeerzeugung wie vor der Modernisierung allein über den Heizkessel.

Von der ersten bis zur letzten Untersuchungsvariante wird also die Entwicklung von einem maximalen Heizstabanteil (1) bis zur monovalenten Wärmepumpe (4) und dann weiter mit steigendem Heizkesselanteil bis zur reinen Kessel-Wärmeerzeugung (7) abgebildet.

Die mit den sieben Wärmeerzeugungssystemen erreichten Deckungsgrade sind in Bild 104 dargestellt, und zwar hier nicht nur wie oben beschrieben für das unsanierte Gebäude (im Bild links), sondern auch für den teilsanierten und den vollsanierten Gebäudezustand. Die (gerundeten) Prozentwerte des Deckungsbeitrags sind für den Heizstab und (im bivalenten Fall) für den Heizkessel mit eingetragen.

Bild 104: Sieben Wärmeversorgungsvarianten im Einfamilienhaus: Deckungsgrade von Wärmepumpe (gelb), Heizstab (braun) und Heizkessel (grün) an der Wärmeerzeugung im unsanierten / teilsanierten / vollsanierten Gebäude



D: Deckungsgrad, WP: Wärmepumpe, HS: Heizstab

In der Abbildung wird deutlich, dass bereits beim Übergang vom unsanierten zum teilsanierten Gebäude die Deckungsgrade von Heizstab und Heizkessel (im bivalenten System) deutlich zurückgehen. Die Variante 3 ME_c geht dabei quasi in den monovalenten Betrieb über. Im vollsanierten Gebäude können fast alle Varianten mit Wärmepumpen monovalent betrieben werden, lediglich in der Variante 6 (BV_b) tritt noch ein minimaler Kesselanteil von rund 1 % an der Wärmeerzeugung auf. Auch dies entspricht also einem fast schon monovalenten Betrieb.

Tabelle 19 zeigt relevante Energiebilanz-Kenngrößen für das Einfamilienhaus im Überblick: Neben der Gesamt-Wärmeerzeugung (die aufgrund der individuellen Simulation auch bei gleichem Gebäudezustand leicht abweichende Werte aufweist) werden die Endenergieverbräuche für elektrischen Strom und Heizöl dargestellt.

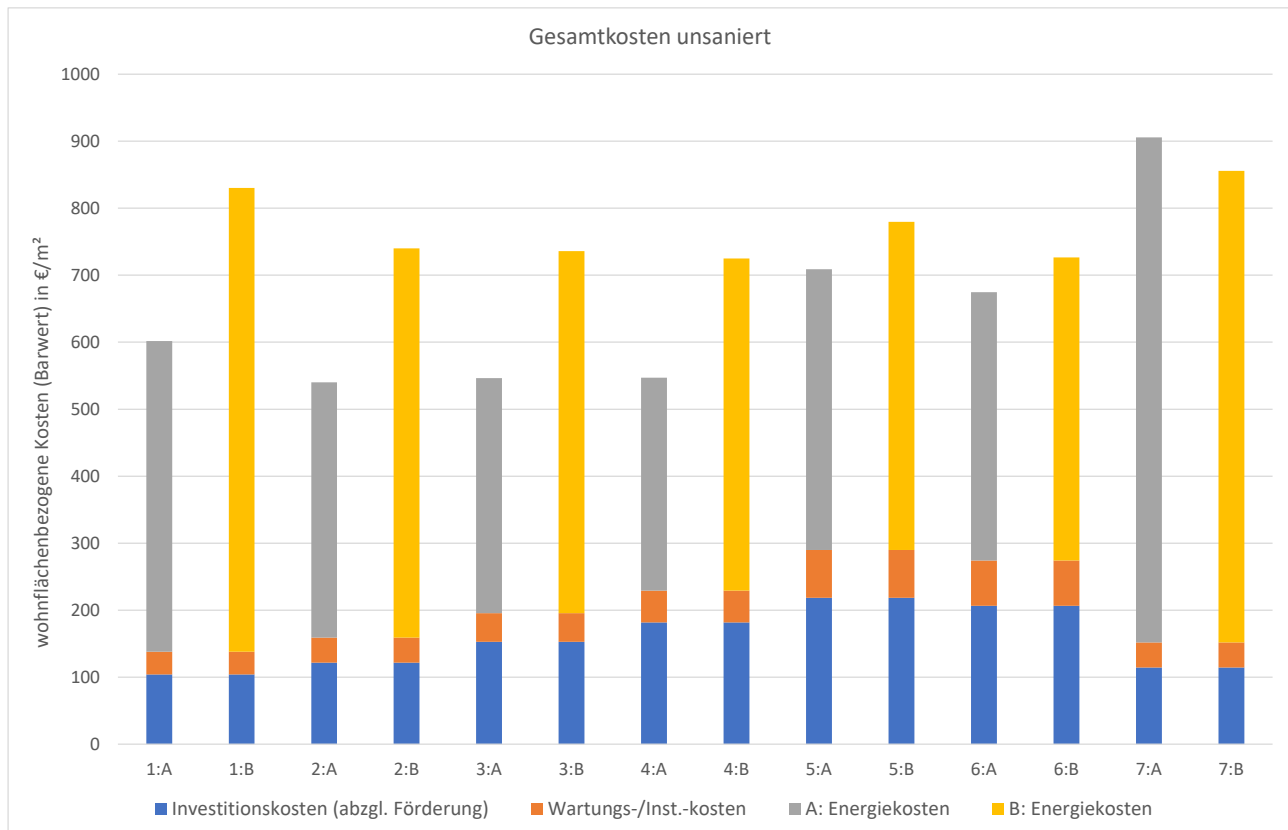
Tabelle 19: Kenngrößen für die Energiebilanz und Investitionskosten der sieben Wärmeversorgungsvarianten (ohne Berücksichtigung von Fördermitteln) beim Einfamilienhaus

Heizsystem		1: ME a	2: ME b	3: ME c	4: MV	5: BV a	6: BV b	7: K
EFH: Gebäudezustand		unsaniert						
Wärmeerzeugung	kWh/m²a	216,5	216,8	216,7	217,1	216,5	215,6	214,8
Strom WP	kWh/m²a	63,3	66,9	73,3	76,5	64,1	49,4	0,0
Strom HS	kWh/m²a	38,1	15,5	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Hilfsstrom	kWh/m²a	0,4	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,5
Heizöl	kWh/m²a	0,0	0,0	0,0	0,0	36,4	62,5	230,5
EFH: Gebäudezustand		teilsaniert						
Wärmeerzeugung	kWh/m²a	167,9	167,7	167,0	167,2	170,2	168,9	167,1
Strom WP	kWh/m²a	55,4	54,1	54,9	55,9	53,4	42,3	0,0
Strom HS	kWh/m²a	10,4	2,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Hilfsstrom	kWh/m²a	0,3	0,3	0,3	0,4	3,0	0,8	0,4
Heizöl	kWh/m²a	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	31,6	179,7
EFH: Gebäudezustand		vollsanert						
Wärmeerzeugung	kWh/m²a	127,1	129,8	128,7	129,4	130,6	128,1	129,3
Strom WP	kWh/m²a	42,9	42,7	42,1	43,4	43,3	38,5	0,0
Strom HS	kWh/m²a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hilfsstrom	kWh/m²a	0,7	0,2	0,5	0,2	2,2	0,8	0,4
Heizöl	kWh/m²a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	145,2
Investitionskosten	€/m²	208	230	261	291	323	299	115
Barwert Wartung/Inst.	€/m²	34	38	43	48	71	68	37

EFH: Einfamilienhaus, WP: Wärmepumpe, HS: Heizstab

Bild 105 zeigt das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsanalyse für das (dauerhaft) unsanierte Gebäude. Dargestellt sind die Kosten (Barwerte) der sieben Wärmeversorgungsvarianten, jeweils getrennt für Szenario A und B.

Bild 105: Kosten der Wärmeversorgung im Einfamilienhaus (unsaniert) für die sieben Heizsystemvarianten: Investitionskosten (nach Abzug der Förderung) sowie Barwert der sonstigen Kosten (Energie- bzw. Wartungs-Instandhaltungskosten) in den Szenarien A und B



Kennzeichnung z. B. „1:A“: Wärmeversorgungssystem Nr. 1 im Szenario A

Für das jeweilige Heizsystem zeigen die benachbarten Balken der Szenarien A und B immer die gleichen Investitions- sowie Wartungs-/Instandhaltungskosten, allerdings teils deutlich unterschiedliche Energiekosten. Bei den Investitionskosten sind hier (anders als in der vorherigen Tabelle 19) die Fördermittel in Abzug gebracht (Förderquote 50 % bei Wärmepumpen). In den folgenden Abbildungen werden aus Gründen der Übersichtlichkeit jeweils nur noch die Gesamtkosten (ebenfalls nach Abzug der Fördermittel) angegeben. Die Investitions- und Wartungs-/Instandhaltungskosten bleiben für gleiche Maßnahmen bei der Heizungserneuerung immer die gleichen³⁴.

In der weiteren Analyse werden zunächst die folgenden Randbedingungen und Entwicklungsmöglichkeiten berücksichtigt:

- Die Investitionen in ein neues Heizsystem finden immer im ersten Betrachtungsjahr statt (2025)
- In der Regel wird davon ausgegangen, dass der bestehende Heizkessel ausgetauscht werden muss, es wird also der Ersatz des Kessels durch eine neue monoenergetische oder monovalente Wärmepumpe (Varianten 1 bis 4) oder der Einbau eines neuen Heizkessels (Varianten 5 bis 7, ggf. mit zusätzlicher bivalenter Wärmepumpe) angenommen. Die andere Möglichkeit, dass der bestehende Kessel in den Varianten 5 bis 7 langfristig weiterbetrieben werden kann, so dass dann keine Kosten für den Kesseltausch entstehen, wird am Ende separat untersucht.

³⁴ Eine Ausnahme gilt hier für die Variante 5:BV_a: Diese kann im vollsanierten Gebäude monovalent betrieben werden, so dass der Heizkessel in diesem Fall komplett abgeschaltet und die anteiligen Wartungs-/Instandhaltungskosten entsprechend reduziert werden.

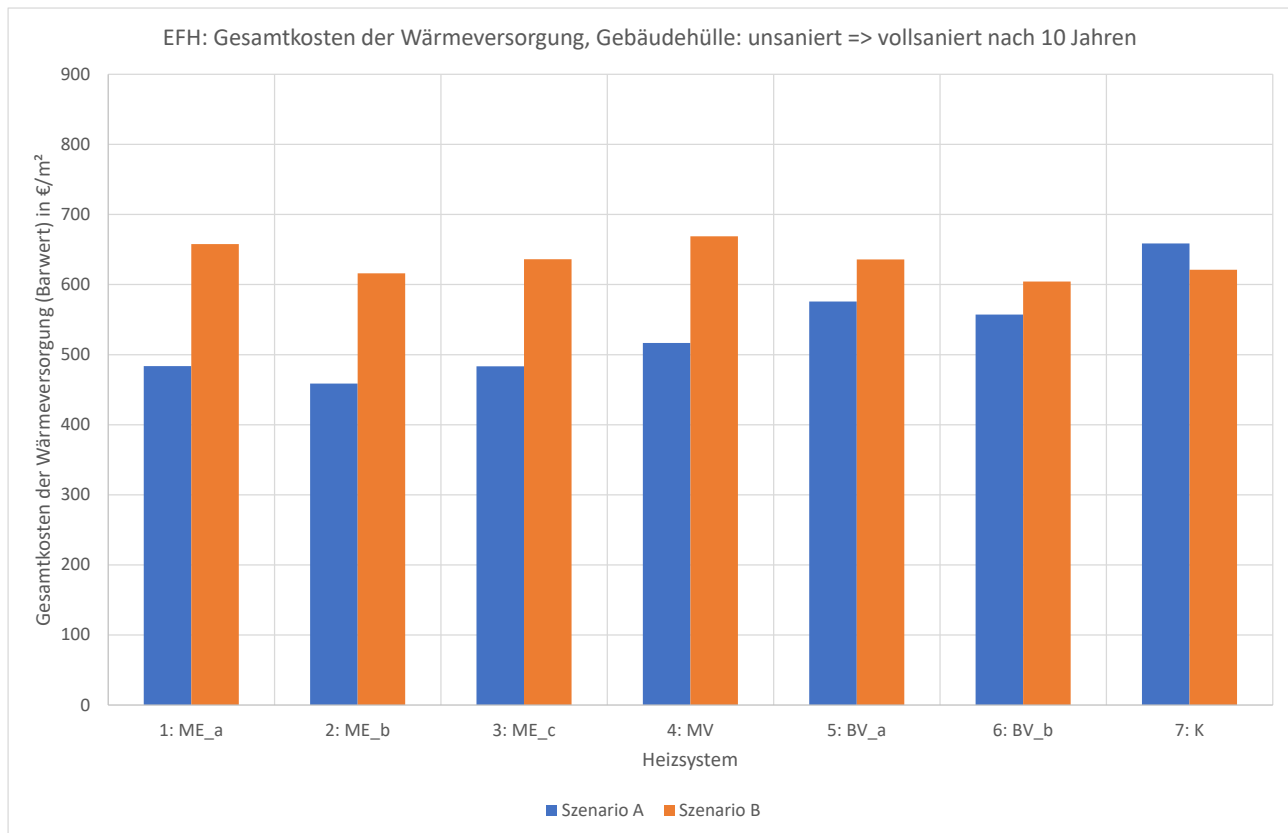
- Ausgangspunkt für die Heizungserneuerung 2025 ist zunächst immer das (im Hinblick auf den Wärmeschutz) unsanierte Gebäude.
- Für die weitere Zukunft gibt es drei verschiedene Entwicklungsmöglichkeiten:
 - Verbesserung des Wärmeschutzes mit Übergang zum Zustand „vollsaniert“³⁵
 - Verbesserung des Wärmeschutzes mit Übergang zum Zustand „teilsaniert“ (TS2)
 - Das Gebäude verbleibt im unsanierten Zustand
- Die mögliche Verbesserung des Wärmeschutzes findet im Standardfall erst nach 10 Jahren statt (also im Jahr 2035, zur Mitte des Betrachtungszeitraums). Fallweise wird aber auch eine frühere Umsetzung nach zwei Jahren betrachtet³⁶.
- Als Kosten werden weiterhin die oben beschriebenen Gesamtkosten der Wärmeversorgung für das im ersten Jahr erneuerte Heizsystem betrachtet (Investitionskosten abzüglich Förderung, Barwerte der Wartung- und Instandhaltungskosten sowie der Energiekosten). Die Kosten des Wärmeschutzes werden dagegen nicht mitberücksichtigt: Diese wären nicht zuletzt von den (heute unbekannten) Fördermöglichkeiten im Jahr 2035 abhängig. Es wird hier also davon ausgegangen, dass die zukünftige Verbesserung des Wärmeschutzes „ohnehin“ stattfindet (oder bei Beibehaltung des unsanierten Zustands nicht stattfindet), so dass die Kostenbetrachtung dementsprechend auf die Wärmeversorgung beschränkt wird.
- Darüber hinaus wird im Vergleich der verschiedenen Untersuchungsfälle auch die Möglichkeit diskutiert, dass die zukünftige Entwicklung anders abläuft als geplant: Es wird insbesondere gefragt, welche Auswirkungen sich auf die Gesamtkosten der Wärmeversorgung ergeben, wenn der Hauseigentümer womöglich ursprünglich mit einer energetischen Vollsanierung nach 10 Jahren gerechnet hat (z. B. aufgrund eines entsprechenden „Sanierungsfahrplans“), tatsächlich aber am Ende anders entschieden wird und innerhalb des 20-jährigen Betrachtungszeitraums gar keine Sanierung mehr stattfindet.

Vor diesem Hintergrund zeigt Bild 106 die Gesamtkosten der Wärmeversorgung für ein 2025 erneuertes Heizsystem, für das nach 10 Jahren (2035) beim Wärmeschutz der Übergang vom unsanierten zum vollsanierten Gebäude stattfindet.

³⁵ Eine solche Entwicklung war auch bei den Analysen im Zwischenbericht und in Kapitel 4 vorausgesetzt worden. Dort wurden Zwischenstufen bis zur Vollsanierung betrachtet, während im vorliegenden Kapitel davon ausgegangen wird, dass nur ein einziger zukünftiger Sanierungsschritt am Gebäude stattfindet.

³⁶ Diese Variante ist dann nicht mehr weit von dem Fall entfernt, dass das Gebäude bereits bei Einbau der neuen Heizung saniert war. Dieser Fall wird daher nicht mehr separat untersucht.

Bild 106: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: Übergang unsaniert => vollsaniert nach 10 Jahren (2035)

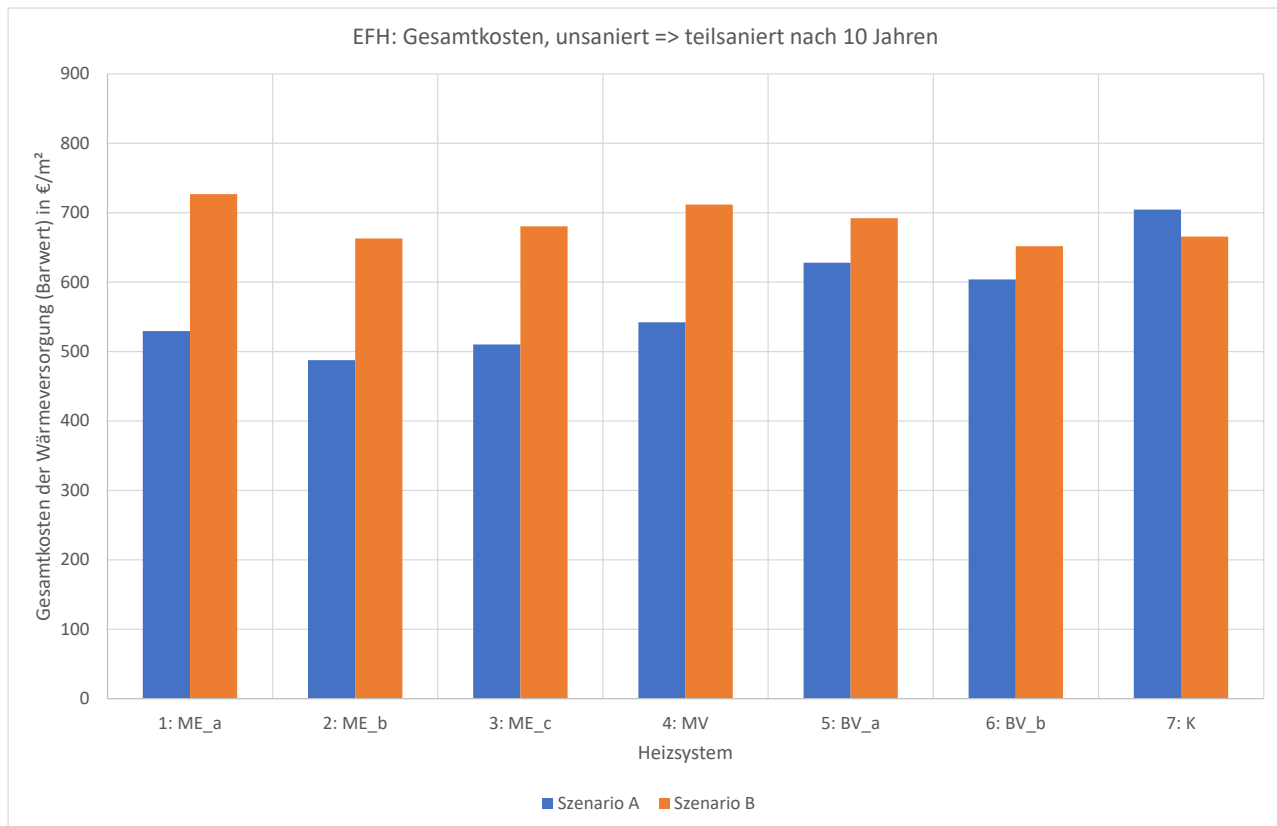


Betrachtet man zunächst allein die Ergebnisse für das Szenario A (blaue Balken: optimistisch für die rein elektrische Wärmeversorgung über Wärmepumpen), so erweist sich hier das Heizsystem 2:ME_b, also die monoenergetische³⁷ Variante mit zweitniedrigster Auslegung der Wärmepumpe (auf 10,4 kW thermischer Leistung), als günstigste Lösung. Alle monoenergetischen bzw. monovalenten Wärmepumpen (Nr. 1 bis 4) liegen hier aber in den Kosten nicht weit auseinander, während sich die bivalenten Wärmepumpen (Nr. 5 und 6), vor allem aber und mit großem Abstand die reine Kesselheizung 7:K als deutlich ungünstiger erweisen. In Szenario B (orange Balken) zeigt sich ein etwas anderes Bild. Die Kostenunterschiede zwischen den einzelnen Systemtypen sind insgesamt weniger stark ausgeprägt als im Szenario A. Die wirtschaftlich günstigste Lösung ist nun die bivalente Variante 6:BV_b, die Kosten für das monoenergetische System 2:ME_b, liegen aber nicht sehr viel höher: Diese Variante nimmt hier in der Kostenreihenfolge den zweiten Platz ein. Die reine Heizkessellösung 7:K liegt nur knapp darüber und erweist sich damit angesichts der für grüne Brennstoffe optimistischeren Ansätze in Szenario B ebenfalls als relativ günstigste Option.

Bild 107 zeigt die entsprechende Analyse für den Fall, dass nach 10 Jahren beim Wärmeschutz nicht mehr der vollsanierte, sondern der teilsanierte Zustand erreicht wird.

³⁷ Die Bezeichnung „monoenergetisch“ ist dabei wie beschrieben als „zunächst monoenergetisch“ zu verstehen, denn im vollsanierten Zustand erfolgt in diesen Fällen (ebenso auch in der bivalenten Variante 5:BV_a) der Übergang zum rein monovalenten Betrieb.

Bild 107: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: Übergang unsaniert => teilsaniert nach 10 Jahren (2035)

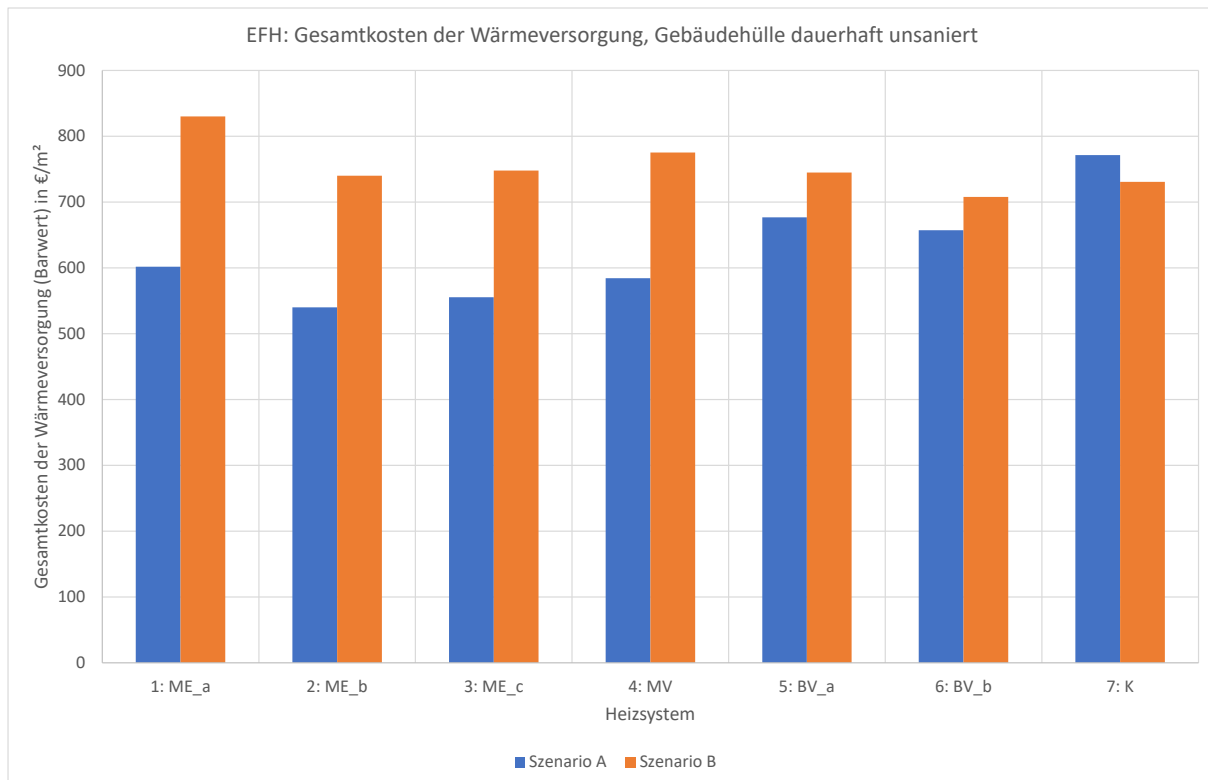


Qualitativ ist in Bild 107 keine wesentliche Änderung gegenüber Bild 106 zu erkennen. Die Variante 2:ME_b erweist sich auch hier in beiden Szenario als die günstigste, in Szenario B führt wiederum die bivalenten Lösung 6:BV_b zu den niedrigsten Kosten.

In Bild 108 ist schließlich der Fall untersucht, dass an der Gebäudehülle im gesamten Betrachtungszeitraum keine Verbesserung durchgeführt wird, das Gebäude also im gesamten Betrachtungszeitraum im Zustand „unsaniert“ verbleibt.³⁸

³⁸ Es handelt sich hier um die vereinfachte Darstellung des bereits in Bild 105 gezeigten Untersuchung.

Bild 108: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: dauerhaft unsaniert



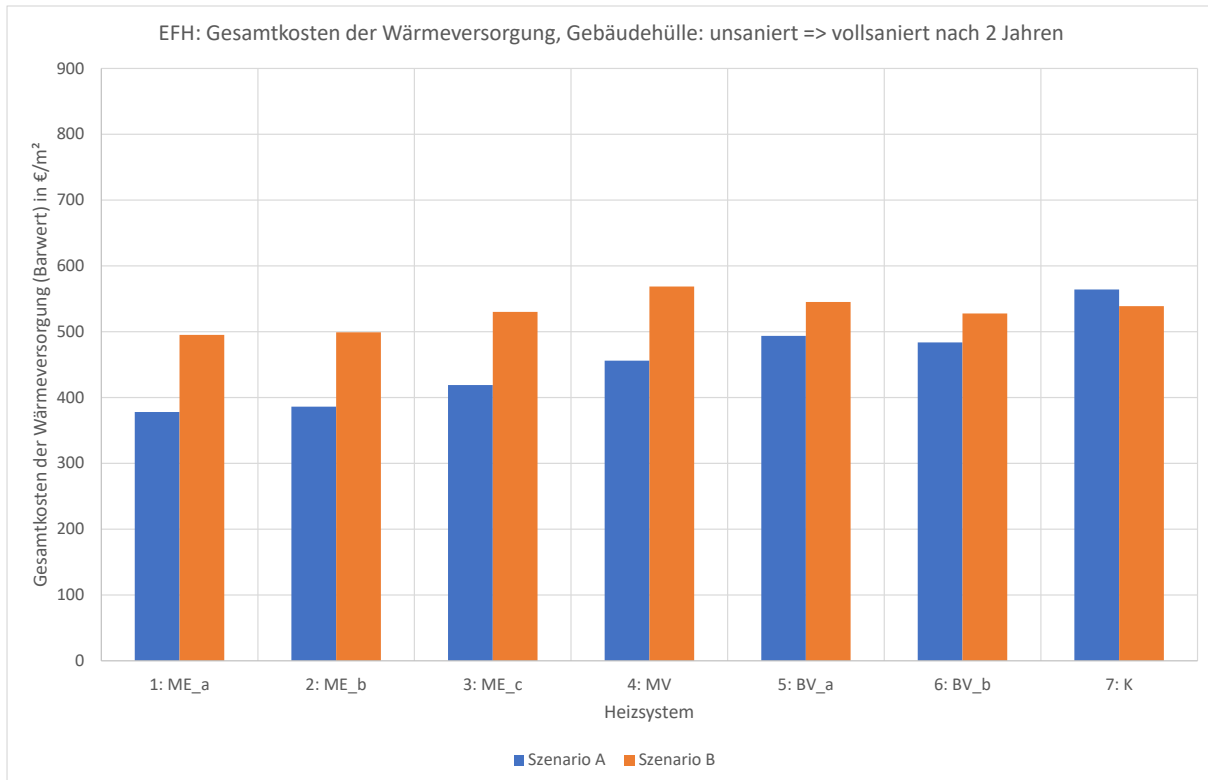
Das Ergebnis ist wiederum ähnlich mit den vorherigen Abbildungen, es zeigen sich aber auch Verschiebungen: Die Variante 2:ME_b ist in Szenario A weiterhin die kostengünstigste, die Kostendifferenzen zu den größer ausgelegten Wärmepumpen (3:ME_c und 4:MV) sind aber etwas geringer geworden. In Szenario B liegt das Optimum weiterhin bei der bivalenten Option 6:BV_b.

Im Übergang von Bild 106 zu Bild 108 ergeben sich merkbare Veränderungen, wenn man unterschiedliche Auslegungsmöglichkeiten für die monoenergetische Wärmepumpe in den Blick nimmt und insbesondere den ersten Fall 1:ME_a betrachtet: Hier handelt es sich um die kleinste monoenergetische Auslegung, die allerdings bei Übergang zum vollsanierten Gebäude monovalent betrieben werden kann. Dieser Fall war insbesondere im Zwischenbericht für die Auslegung der monoenergetischen Wärmepumpe zugrunde gelegt worden. Im Vergleich zu der etwas größer ausgelegten Wärmepumpe im Fall 2:ME_b, die in den bisherigen Analysen fast immer das Kostenoptimum bildet, zeigt sich, dass die Kostenunterschiede noch relativ gering sind, wenn man von der tatsächlichen Realisierung der Vollsaniierung ausgeht (Bild 106). Wenn man dagegen wie in Bild 108 annimmt, dass diese Sanierung ausbleibt, so zeigen sich merkliche Mehrkosten für die Variante 1:ME_a, auch gegenüber den weiteren monoenergetischen bzw. monovalenten Systemen.

Die „knappe“ Auslegung der Wärmepumpe, mit der der spätere monovalente Betrieb im vollsanierten Gebäude gerade erreicht wird, mit einem anfänglich relativ hohen Heizstabanteil an der Wärmeversorgung (hier: 16 %) kann also zu merklichen Mehrkosten führen, wenn bis zur energetischen Gebäudemodernisierung ein langer Zeitraum (hier 10 Jahre) verstreicht, oder diese womöglich (aufgrund einer inzwischen veränderten Sichtweise) ganz ausbleibt.

Ebenfalls denkbar wäre allerdings auch der Fall, dass die Durchführung der energetischen Gebäudemodernisierung innerhalb weniger Jahre geplant ist und als sehr sicher gelten kann. Ein solcher Fall ist in Bild 109 dargestellt: Hier wird angenommen, dass die Wärmeschutzmaßnahmen bereits nach Ablauf von 2 Jahren (2027) durchgeführt werden.

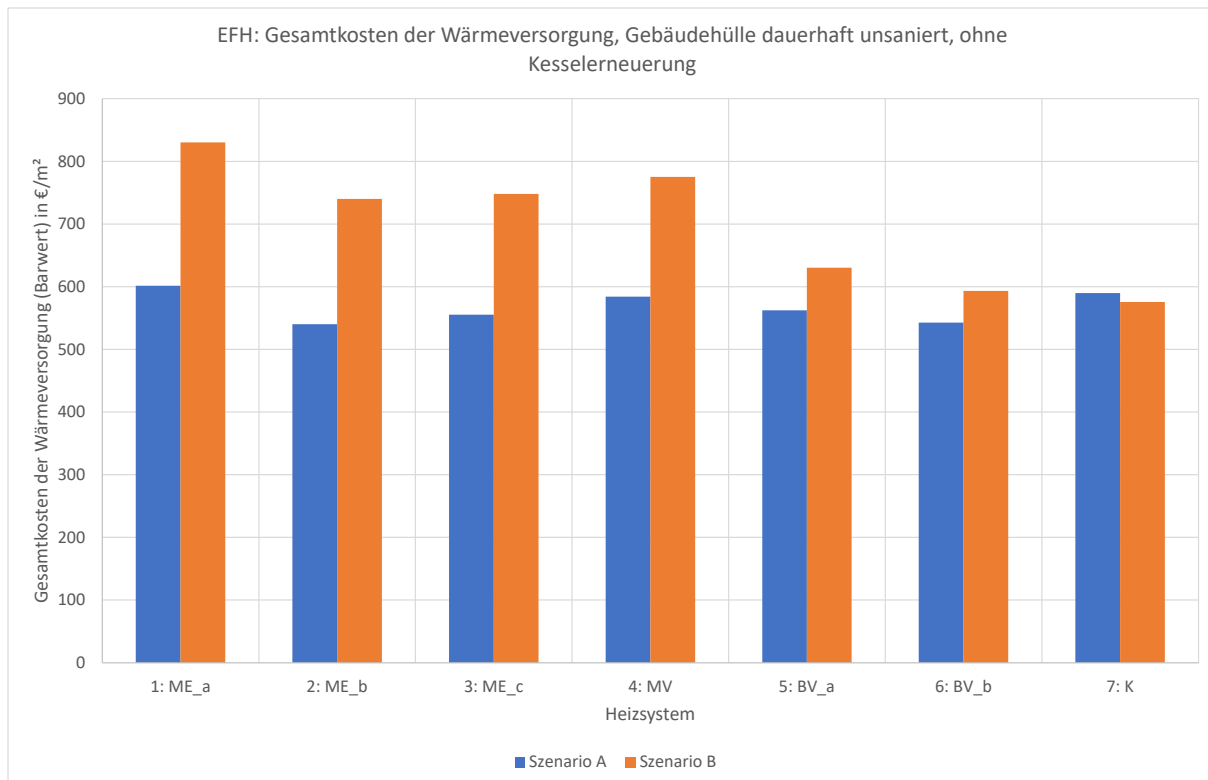
Bild 109: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: Übergang unsaniert => vollsaniert bereits nach 2 Jahren



In diesem Fall erweist sich die Variante 1:ME_a nun einerseits als quasi gleichwertig mit 2:ME_b, aber andererseits auch nicht als merklich besser. Aufgrund dieses Ergebnisses und vor dem Hintergrund, dass hier wie in Kapitel 7.2 erläutert monoenergetische Systeme im Szenario B vereinfacht und tendenziell etwas zu günstig betrachtet werden (durch Verwendung der gleichen Energiekostenparameter wie für monovalente Anlagen), kann die folgende Empfehlung ausgesprochen werden: Auch bei absehbarer energetischer Gebäudemodernisierung sollten monoenergetische Wärmepumpen nicht zu knapp ausgelegt werden. Der Deckungsbeitrag des Heizstabs sollte also nicht bei rund 15 % liegen (wie in der Variante 1:ME_a) sondern von vornherein eher einen Wert von rund 5 % erreichen bzw. nicht weit überschreiten (vgl. Variante 2:ME_b mit 7 %). Unabhängig von Wirtschaftlichkeitsfragen ergeben sich durch die Reduzierung des Heizstabanteils ohnehin immer positive Auswirkungen auf den Brennstoffverbrauch im Kraftwerkspark und die damit einhergehenden Treibhausgasemissionen (vgl. Kapitel 6.2).

In den bisherigen Untersuchungen war angenommen worden, dass im Ausgangsjahr (2025) eine Erneuerung des bestehenden Heizkessels notwendig ist. Demgegenüber ist aber auch die Situation denkbar, dass der existierende Heizkessel noch relativ neu ist und im gesamten Betrachtungszeitraum weiterbetrieben werden kann. Dieser Fall ist in Bild 110 für das dauerhaft unsanierte Gebäude dargestellt. Während in den „elektrischen“ Varianten 1-4 die Kosten gegenüber Bild 108 unverändert bleiben, sind sie in den Varianten 5-7 deutlich niedriger, da die Investitionskosten in den Heizkessel entfallen und die Brennstoffpreise niedriger liegen: Ohne Kesselerneuerung entfällt auch die GEG-Pflicht zur frühzeitigen Erreichung eines 65-prozentigen Anteils erneuerbarer Energien bei der Wärmeversorgung.

Bild 110: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Beibehaltung des Heizkessels in den Varianten 5-7, Wärmeschutz: dauerhaft unsaniert



Im Resultat stellt sich die Variante 7:K mit Beibehaltung des Heizkessels als alleinigem Wärmeerzeuger, bei der keinerlei Investitionskosten entstehen, günstiger dar als in den bisherigen Betrachtungen. Dies gilt insbesondere im Szenario B. Auch dort erweist sich allerdings die bivalente Variante 6:BV_b als fast gleichwertig: Die Mehrkosten gegenüber der reinen Kessellösung sind gering. Auch im Szenario A liegt die bivalente Variante 6:BV_b nur sehr knapp über der monoenergetischen Variante 2:ME_b, die in diesem Szenario wiederum das Kostenminimum markiert. Der Einbau einer bivalenten Wärmepumpe parallel zu einem existierenden Heizkessel kann sich also als wirtschaftlich sinnvoll erweisen.

In dem Fall, dass Szenario A eintritt, stellt sich hier selbst der vollständige Ersatz des noch funktionstüchtigen Ölkessels durch eine monoenergetische oder monovalente Wärmepumpe als vorteilhaft dar³⁹. Im Szenario B würden sich auf diesem Wege allerdings deutliche Mehrkosten ergeben.

Die noch weitergehende Frage, wo der am besten geeignete Zeitpunkt für den Ersatz oder die Ergänzung des noch funktionsfähigen Heizkessels durch eine Wärmepumpe läge (sofort oder erst einige Jahre später?), kann hier nicht näher untersucht werden. Festzuhalten bleibt aber das Ergebnis, dass bei Eintritt einer innerhalb der Szenarien A und B liegenden Entwicklung – und bei Beibehaltung der hier immer unterstellten Wärmepumpenförderung – durchaus Chancen bestehen, Wärmepumpen auch in Gebäuden mit noch funktionsfähigen Ölkesseln wirtschaftlich sinnvoll zum Einsatz zu bringen.

³⁹ Kosten für den Rückbau des vorhandenen Ölkessels und des Öltanks wurden dabei allerdings nicht berücksichtigt. Laut Kapitel 3.4 fallen für die Entsorgung der Altanlage typischerweise Kosten in der Größenordnung 1.000 € an (vgl. Tabelle 7 auf S. 68). In Bild 110 wären also die monoenergetischen bzw. die monovalenten Varianten mit diesen Zusatzkosten zu beaufschlagen, die hier allerdings bezogen auf die Wohnfläche mit weniger als 10 €/m² kaum ins Gewicht fallen. In den vorherigen Analysen treten diese Kosten bei allen Varianten auf, da generell von einer notwendigen Kesselerneuerung ausgegangen wurde. Zusätzliche Kosten treten bei allen mono- und monoenergetischen Varianten für den Rückbau des Öltanks auf. Allerdings stehen dem zumeist die (nicht ohne Weiteres bezifferbaren) Vorteile eines erhöhten Raumgewinns (z. B. im Gebäudekeller) gegenüber. Eine Vernachlässigung dieses Aspekts erscheint also ebenfalls gerechtfertigt.

Die Installation einer bivalenten Wärmepumpe ergänzend zum vorhandenen Heizkessel empfiehlt sich insofern, als sie unabhängig davon, ob die zukünftige Entwicklung eher entlang Szenario A oder Szenario B verläuft, zu wirtschaftlich befriedigenden Ergebnissen führt.

7.4 Analyse für das Mehrfamilienhaus

Die Untersuchungen wurden in ähnlicher Weise auch für das im Zwischenbericht beschriebene Mehrfamilienhaus (MFH) mit einer Wohnfläche von 603 m² durchgeführt. Es werden vier Wärmeversorgungssysteme betrachtet:

1. **ME: Monoenergetische Wärmepumpe**

Die Wärmepumpe ist mit einer thermischen Leistung von 26,4 kW so ausgelegt, dass der Deckungsanteil des elektrischen Heizstabs bereits im unsanierten Zustand auf 5 % begrenzt ist. Im vollsanierten Zustand arbeitet die Wärmepumpe monovalent. Die Investitionskosten belaufen sich auf rund 90 €/m² (bezogen auf die Wohnfläche).

2. **MV: Monovalente Wärmepumpe**

Diese Wärmepumpe mit einer Leistung von 52,7 kW kann bereits im unsanierten Zustand monovalent betrieben werden. Die Investitionskosten betragen 134 €/m²

3. **BV: Bivalente Wärmepumpe**

Mit einer thermischen Leistung der Wärmepumpe von 17,6 kW wird im unsanierten Gebäude ein Deckungsanteil von 74 % an der Wärmeerzeugung erreicht. Im vollsanierten Gebäude erhöht sich dieser Anteil auf 95 %. Die Investitionskosten liegen bei 113 €/m².

4. **K: Heizöl-Kessel**

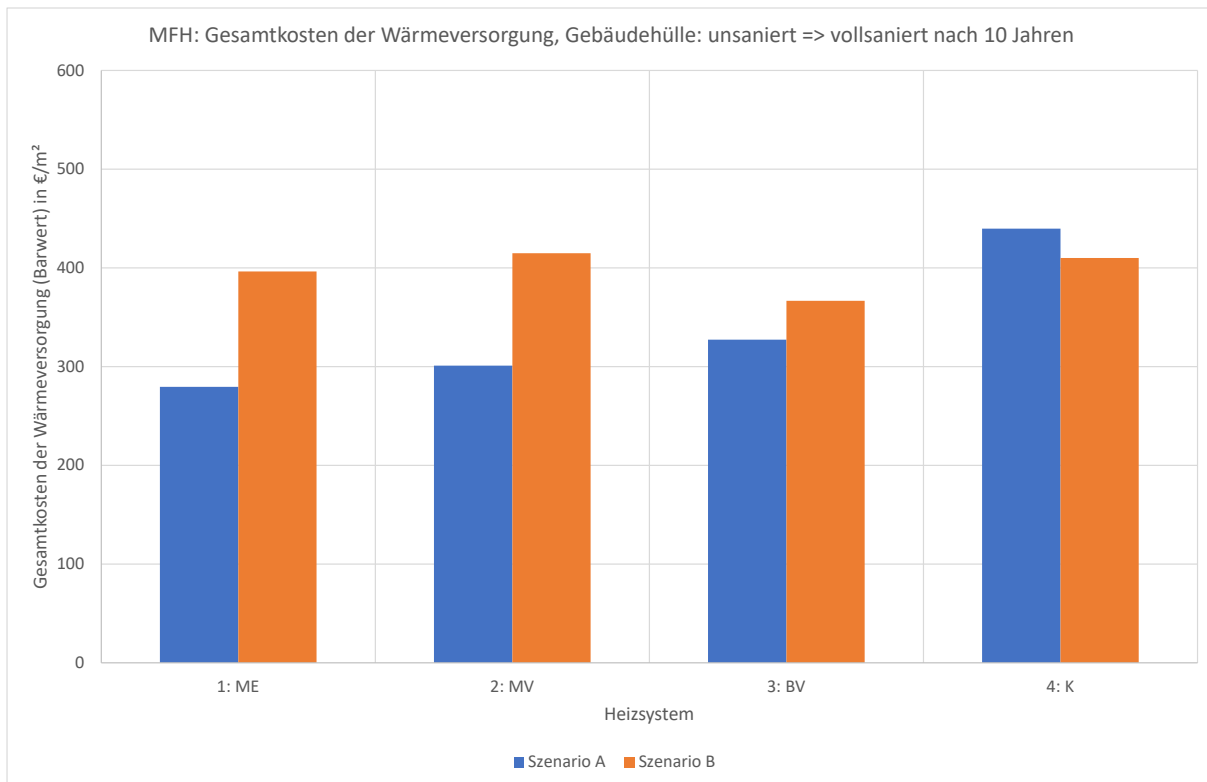
Die Investitionskosten für die Erneuerung des Heizölkessels werden zu 42 €/m² angesetzt.

Die Barwerte der Wartungs- und Instandhaltungskosten der vier Systeme liegen bei 15 €/m² (ME), 22 €/m² (MV), 25 €/m² (BV) und 14 €/m² (K). Die Betrachtungen werden hier auf den unsanierten und den vollsanierten Zustand des Gebäudes beschränkt. Die Wärmeerzeugung liegt insgesamt bei rund 178 kWh/m²a (unsaniert) bzw. 108 kWh/m²a (vollsaniert). Innerhalb der Simulationen treten bei den einzelnen Wärmeversorgungssystemen Abweichungen nach oben und unten von maximal etwa 1,5 % auf, so dass auch für die Kostenanalysen mit einem entsprechenden Schwankungsbereich zu rechnen ist.

In den Analysen wurden auch hier Fördermittel für die Wärmepumpen mit einer angenommenen Förderquote von 50 % mitberücksichtigt. Der Betrachtungszeitraum beträgt weiterhin 20 Jahre.

Die Ergebnisse für die heutige Heizungserneuerung im unsanierten Gebäude mit Durchführung einer Wärmeschutz-Modernisierung nach 10 Jahren sind in Bild 111 dargestellt.

Bild 111: Mehrfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: Übergang unsaniert => vollsaniert nach 10 Jahren (2035)

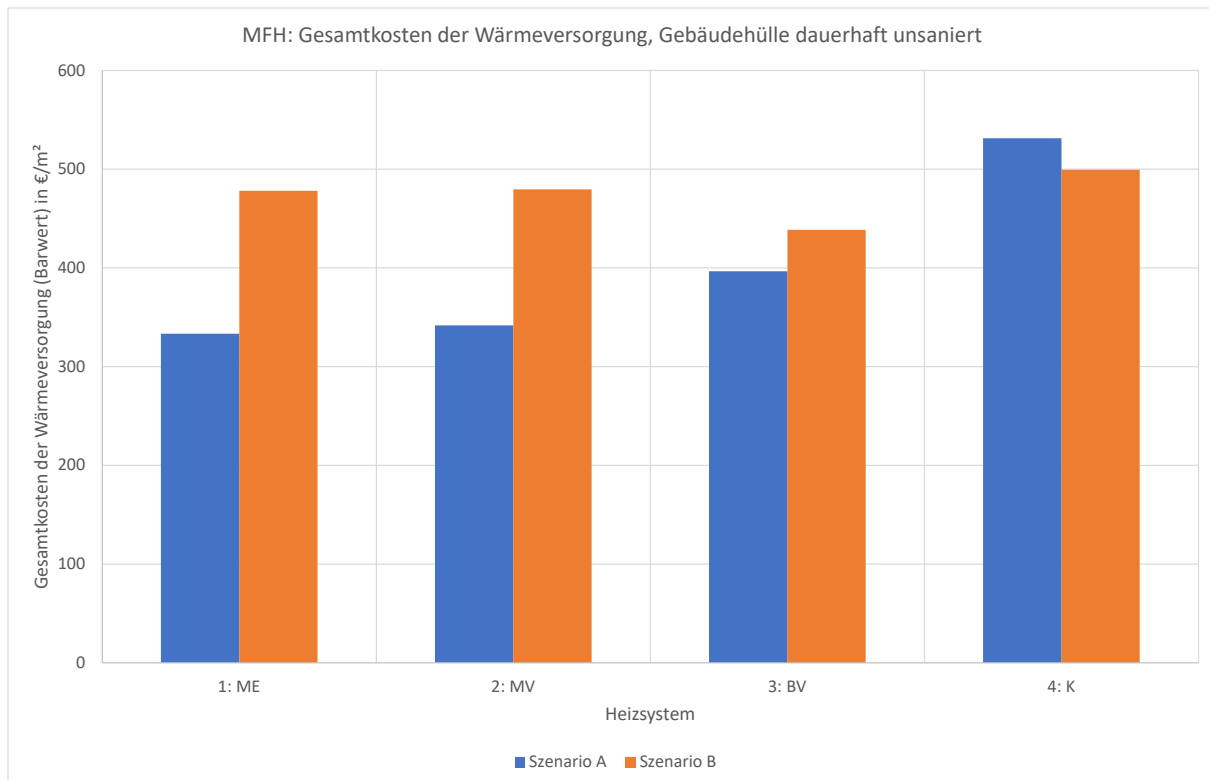


Im Szenario A zeigt sich ein klarer Kostenvorteil der Wärmepumpensysteme gegenüber der reinen Heizkessel-Variante, wobei innerhalb dieser Systeme die monoenergetische Wärmepumpe am günstigsten abschneidet.

Im Szenario B sind die Kostenunterschiede insgesamt weniger stark ausgeprägt. Die bivalente Wärmepumpe erweist sich hier allerdings mit noch einigem Abstand als günstigste Lösung.

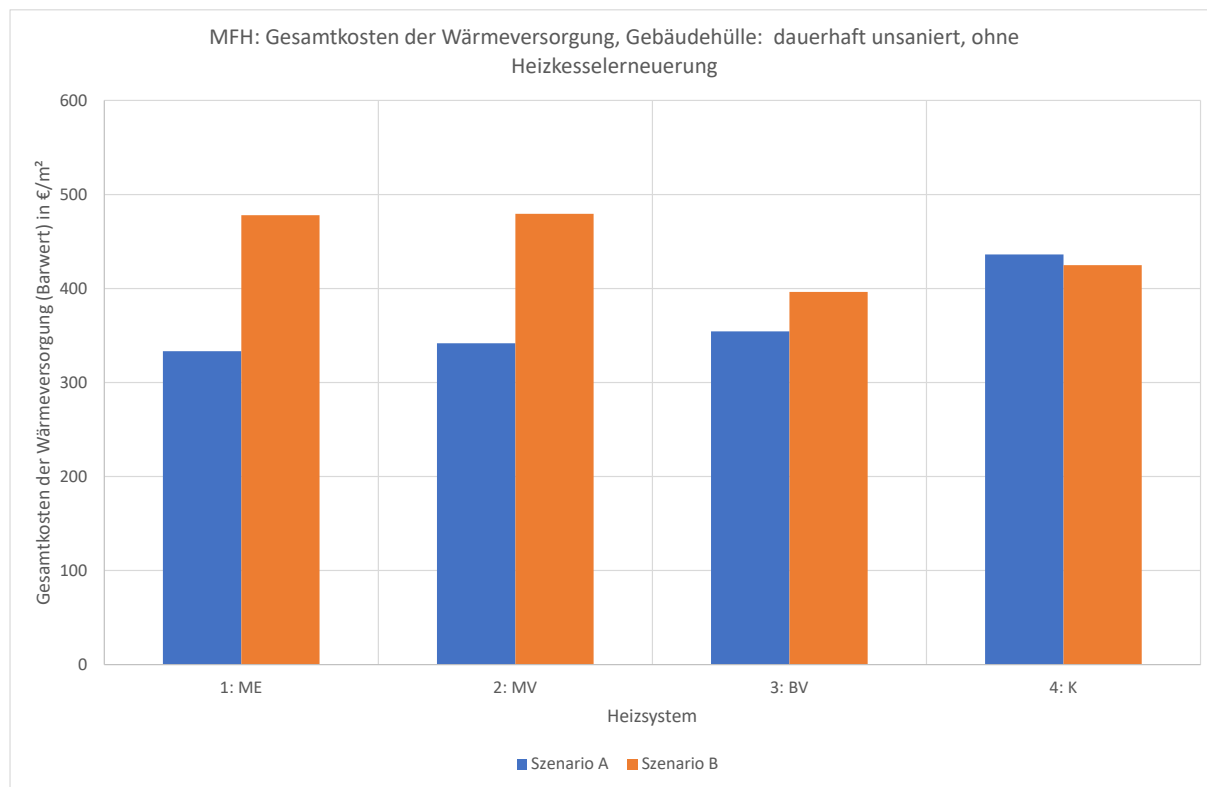
Der Fall, dass die energetische Modernisierung der Gebäudehülle ausbleibt, der Zustand „unsaniert“ also im gesamten Betrachtungszeitraum bestehen bleibt, ist in Bild 112 dargestellt.

Bild 112: Mehrfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025, Wärmeschutz: dauerhaft unsaniert



Der Vergleich der verschiedenen Heizsysteme fällt ähnlich aus wie in der vorherigen Abbildung: Auch hier stellen sich in Szenario A die monoenergetische und in Szenario B die bivalente Lösung als die jeweils günstigsten Varianten heraus. Die Heizkesselvariante erweist sich nun in beiden Szenarien als die teuerste Option. In Szenario A ist der Kostenabstand der monovalenten Wärmepumpe zur monoenergetischen sehr gering. Weiterhin wird für den Fall des dauerhaft unsanierten Gebäudes in Bild 113 der Fall gezeigt, dass eine Heizkesselenerneuerung nicht notwendig ist, der vorhandene Ölkessel also im gesamten Betrachtungszeitraum weiterbetrieben werden kann.

Bild 113: Einfamilienhaus: Gesamtkosten der Wärmeversorgung, Heizungserneuerung 2025 (Var. 1-3), Beibehaltung des Heizkessels in den Var. 5-7, Wärmeschutz: dauerhaft unsaniert



Obwohl in der reinen Heizkesselvariante die Investitionskosten für den neuen Wärmeerzeuger entfallen und auch die Energiekosten geringer sind als in den vorherigen Analysen (da die Pflicht zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger gemäß Gebäude-Energie-Gesetz entfällt), zeigt sich der Heizkessel weiterhin in keinem Szenario als die günstigste Lösung. Die bivalente Wärmepumpe (die ebenfalls durch den Weiterbestand des Heizkessels profitiert) erweist sich in Szenario B weiterhin als die günstigste Option und kann auch in Szenario A den Kostenabstand zu der monoenergetischen bzw. monovalenten Lösung deutlich verringern. Wie beim Einfamilienhaus erweist sich also auch hier beim Mehrfamilienhaus der Einbau einer bivalenten Wärmepumpe als attraktive Option, wenn der bestehende Heizkessel weitergenutzt werden kann.

8 Literaturverzeichnis

- [Afjei et al. 1998] Afjei, Th.; Betschart, W.; Bircher, R.; Doka, G.; Geering, H.P.; Giger, Th.; Ginsburg, S.; Glass, A.; Huber, A.; Shafai, E.; Wetter, M.; Wittwer, D.; Zweifel, G.: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Phase 2: Ökologischer und ökonomischer Vergleich des Gesamtsystems, Systemoptimierung, Konzeption einer intelligenten Regelung und Versuche an Testanlagen. Schlussbericht im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW). INFEL, HTA Luzern, ETH Zürich, Zürich, November 1998
- [BAFA 2020] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): Merkblatt zu den technischen Mindestanforderungen: Heizen mit Erneuerbaren Energien, Version 1.0, Inkraftgetreten 08.06.2020, Eschborn, 06.2020
- [BAFA 2021] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): Energieberatung für Wohngebäude. Merkblatt für die Erstellung eines Beratungsberichts / individuellen Sanierungsfahrplans (Stand 04.11.2021). Eschborn, 2021. Url: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ebw_merkblatt_erstellung_beratungsbericht.pdf;jsessionid=47A6F5F28D24E2304B9EA8CFB40B74E8.intranet251?_blob=publicationFile&v=2, abgerufen am 24.04.2023
- [BAFA 2023] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): Liste der förderfähigen Wärmepumpen mit Prüf-/Effizienznachweis. Eschborn, 27.10.2023.
- [Berthold 2022] Berthold; M.; Uhlmann, M.; Bertsch, S.; Eschmann, M.: Bericht <Feldmessungen von Wärmepumpen-Anlagen Heizsaison 2021/22>, Bundesamt für Energie BFE, CH-Ittingen, November 2022
- [Bettgenhäuser et al. 2024] Bettgenhäuser, K.; von Manteuffel, B.; Offermann, M.; Köhler, B.; Bürger, V.; Braungardt, S.; Klinski, S.: Wärmepumpensysteme in Bestandsgebäuden. Abschlussbericht. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2024
- [BKI 2023] BKI Baukosteninformatinszentrum (Hrsg.): BKI Objektdaten: Kosten abgerechneter Bauwerke, Stuttgart, 2024
- [BMWK 2024] Neetzow, P.: Mailrückmeldung zu Anfrage nach Anforderungen zur Wärmepumpenförderung, 15.07.2024
- [Bongs et al. 2022] Bongs, C.; Wapler, J.; Dinkel, A.; Miara, M.; Auerswald, S.; Lämmle, M.; Hess, S.; Kropp, M.; Eberle, R.; Rodenbücher, B.; Schmidt, F.; Ruppert, M.; Carbonare, N.; Wagner, A.: Abschlussbericht - LowExBestand Analyse - LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden, Fraunhofer ISE, KIT, Universität Freiburg, Inatech, Okt. 2022.
- [Bernal et al. 2023] Bernal, S.; Berthold, M.; Bertsch, S.; Eschmann, M.: Feldmessungen von Wärmepumpen-Anlagen Heizsaison 2022/23. EnergieSchweiz, Bern, 27.11.2023
- [Brudermueller et al. 2025] Brudermueller, T.; Potthoff, U.; Fleisch, E.; Wortmann, F.; Staake, T.: Estimation of energy efficiency of heat pumps in residential buildings using real operation data. In: Nature Communications, 16:2834, <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58014-y>, 2025.
- [Buchs 2014] Heldstab, A.; Feichter, G.; Bertsch, S.: JAZ Monitoring - Wärmepumpen-interne Messung der JAZ. Bundesamt für Energie [Hrsg.], Bern, 2014, Url: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcH-VibGljYX/Rpb24vZG93bmxxvYWQvNzYwNw==.html>
- [BWP 2024a] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.: Zahlen & Daten zum Wärmepumpenmarkt. Online unter: <https://www.waermepumpe.de/presse/zahlen-daten/>, abgerufen am 21.07.2025
- [BWP 2024b] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.: Kältemittel. Informationen zu Funktion, Einsatz und Regulierung von Kältemitteln in Wärmepumpen, einschließlich der F-Gase-Verordnung (EU) 2024/573. Berlin, 2024. URL: <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/kaeltemittel/>, abgerufen am 21.07.2025

- [BWP 2025] Bundesverband Wärmepumpe: Pressemitteilung vom 25.01.2025. Url: <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/details/waermepumpen-markt-geht-auf-193000-geraete-zurueck-aber-vertrauen-in-die-foerderung-steigt/>, abgerufen am 11.07.2025
- [dena 2021] Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.): Handbuch für Energieberaterinnen und Energieberater – Anleitung zur Erstellung des individuellen Sanierungsfahrplanes. Berlin, 2021. Url: <https://www.gebaeudeforum.de/fileadmin/gebaeudeforum/Downloads/iSFP-Publikation/iSFP-Handbuch-21-12.pdf>, abgerufen am 24.04.2023
- [dena 2023] Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.): Wärmepumpen im Gebäudesektor. Eine Technologie für eine fossilfreie Wärmeversorgung. Berlin, September 2023
- [Destatis 2025] Statistisches Bundesamt: Pressemitteilung N031 vom 04. Juni 2025. Url: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2025/06/PD25_N031_31_51.html, abgerufen am 11.07.2025
- [Destatis 2024] Statistisches Bundesamt: Baupreisindizes: Deutschland, Jahre, Messzahlen mit/ohne Umsatzsteuer, Instandhaltung von Wohngebäuden, Bauarbeiten (Instandhaltung), Stand: 10.06.2024, Download von <https://www-genesis.destatis.de/datenbank/online/>
- [Diefenbach et al. 2017] Diefenbach, N.; Großklos, M.; Grafe, M.; Müller, A.; Born, R.: Modellentwicklung zur Analyse des zeitlichen Ausgleichs von Energieangebot und -nachfrage im Wohngebäudesektor. Zwischenbericht. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 29.03.2017. Url: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/prj/EE-GebaeudeZukunft_Zwischenbericht.pdf
- [Diefenbach et al. 2019] Diefenbach, N.; Großklos, M.; Müller, A.; Grafe, M.; Swiderek, S.: Analyse der Energieversorgungsstruktur für den Wohngebäudesektor zur Erreichung der Klimaschutzziele 2050. Endbericht Teil 1. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 19.09.2019. Url: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/prj/EEGebaeudeZukunft_Endbericht_Teil_1.pdf
- [Diefenbach, Cischinsky 2024] Diefenbach, N.; Cischinsky, H.: Klimaschutzkosten und sozialer Ausgleich im Wohngebäudebestand: Modellentwicklung und Analysen. Endbericht im Forschungsvorhaben „Mikrosimulationsmodell zur Analyse der akteursbezogenen Kosten für Klimaschutzmaßnahmen im Wohngebäudebestand“ (MISIMKO). Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 30.01.2024. Url: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/2024_IWU_Diefenbach_Cischinsky_Endbericht_MISIMKO.pdf
- [Diefenbach et al. 2025] Diefenbach, N.; Großklos, M.; Enseling, A.: Auf dem Weg zur Klimaneutralität: Kosten und CO₂-Emissionen bei der Wohngebäude-Wärmeversorgung. Endbericht im Forschungsvorhaben „Beitrag der Wohngebäude für eine CO₂-neutrale Energieversorgung“. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 10.07.2025. Url: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/2025_Diefenbach-et-al_Beitrag-Wohngebaeude-Endbericht.pdf
- [DIN EN 15450] Heizungsanlagen in Gebäuden - Planung von Heizungsanlagen mit Wärmepumpen; Deutsche Fassung EN 15450:2007. Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2007
- [Draft space heaters 2023] Ecodesign regulation space / combination heaters, Draft for revision of Regulation (EU) 813/2013 vom 27.04.2023. Url: https://netzwerke.bam.de/Netzwerke/Content/DE/Downloads/Evpg/Heizen-Kuehlen-Lueften/001_draft_ed_2023.pdf?_blob=publicationFile, abgerufen am 15.09.2025
- [Eschmann 2018] Eschmann, M.: Qualitätsüberwachung von Kleinwärmepumpen und statische Auswertung der Prüfergebnisse 2028, Bundesamt für Energie, CH-Ittingen, Dezember 20218
- [Günter et al. 2020] Günter, D.; Wapler, J.; Langner, R.; Helmling, S.; Miara, M.; Fischer, D.; Zimmermann, D.; Wolf, T.; Wille-Hausmann, B.: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden – Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben „WPsmart im Bestand“. Abschlussbericht. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 23.07.2020. Förderkennzeichen: 03ET1272A.

- [FZJ 2023] Forschungszentrum Jülich – Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK-3): hplib – heat pump library. GitHub-Repository mit Funktionen zur Simulation von Wärmepumpen basierend auf öffentlich zugänglichen Heatpump Keymark-Daten. Version 2.0. GitHub, 2023. URL: <https://github.com/FZJ-IEK3-VSA/hplib>, abgerufen am 21.07.2025
- [Graf et al. 2024] Graf, C.; Pärish, P.; Marszal-Pomianowska, A.; Frandsen, M.; Bendinger, B.; Cadenbach, A.: Domestic hot water systems in well-insulated residential buildings: A comparative simulation study on efficiency and hygiene challenges, Energy, Bd. 313, S. 133587, Dez. 2024, doi: [10.1016/j.energy.2024.133587](https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133587).
- [Großklos et al. 2023] Großklos, M.; Behem, G.; Diefenbach, N.; Swiderek, S.: Recherchen und Analysen zur Wärmeversorgung von Bestandsgebäuden mit Wärmepumpen. Zwischenbericht (Arbeitspapier) für das Forschungsvorhaben „Wärmepumpen-Praxis im hessischen Wohngebäudebestand“. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2023. URL: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/2023_IWU_Grossklos-EtAl_Zwischenbericht_WP-Hessen.pdf
- [HMWEVW 2024] Energiewende in Hessen – Monitoringbericht 2024: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlicher Raum, Wiesbaden, 2024. URL: https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2024/4379_Monitoringbericht_barrierefrei_V11022025.pdf
- [Hinz 2012] Hinz, E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden; BMVBS-Online Publikation Nr. 07/2012
- [Hinz 2015] Hinz E.: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2015. URL: <https://www.iwu.de/forschung/handlungslogiken/kosten-energierelevanter-bau-und-anlagenteile-bei-modernisierung/>
- [Holm et al. 2023] Holm, A.; Mellwig, P.; Pehnt, M.: Wärmeschutz und Wärmepumpe – warum beides zusammengehört. Studie im Auftrag des Verbands für Dämmsysteme, Putz und Mörtel e.V., FIW München & ifeu Heidelberg 2023
- [Imkeller-Benjes 2024] Imkeller-Benjes, U.: Der deutsche Winter-Strommix ist bereits jetzt schon „grün“ genug für Wärmepumpen!; Teil 2: Vergleich der externen und internen Messung der Arbeitszahlen der Wärmepumpe. Vortragsfolien für die 16. Effizienztagung am 8./9.11.2024 in Hannover. URL: https://www.effizienztagung.de/medien/seiten/download/inhalt/Imkeller-Benjes_EFT2024_Download.pdf, abgerufen am 04.09.2025
- [IWU-GTZ] Großklos, M.; Loga, T.; Behem, G.: Gradtagzahlen-Deutschland, Excel Tool, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), <https://www.iwu.de/fileadmin/tools/gradtagzahlen/Gradtagzahlen-Deutschland.xlsx>, abgerufen 02.2025
- [Jurkschat et al. 2023] Jurkschat, S.; Sehr, F.; Fransen, K.; Beblek, A.; Grinewitschus, V.: Measurement Data-Based Estimation of the Suitability of Existing Properties for the Operation of x to Water Heat Pumps Using a Seed of 100 Multi-Family Houses and Different Power Shifting Approaches, Energies, Bd. 16, Nr. 21, S. 7352, Okt. 2023, doi: [10.3390/en16217352](https://doi.org/10.3390/en16217352).
- [Kropp et al. 2024] Kropp, M.; Lämmle, M.; Herkel, S.; Henning, H.-M.; Velte-Schäfer, A.: Enhancing heat pump performance for domestic hot water preparation: A comparative analysis in existing multi-family houses, Energy and Buildings, 328, p. 115155. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.115155>.
- [Lämmle et al. 2023] Lämmle, M.; Metz, J.; Kropp, M.; Wapler, J.; Oltersdorf, T.; Günther, D.; Herkel, S.; Bongs, C.: Heat Pump Systems in Existing Multifamily Buildings: A Meta-Analysis of Field Measurement Data Focusing on the Relationship of Temperature and Performance of Heat Pump Systems, Energy Technology, Bd. 11, Nr. 12, S. 2300379, 2023, doi: [10.1002/ente.202300379](https://doi.org/10.1002/ente.202300379).
- [Langreder et al. 2022] Langreder, N.; Rau, D.; Sahnoun, M.; Thamling, N.: Kurzgutachten zur aktuellen Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen, Prognos im Auftrag des Bundesverband Wärmepumpe, Berlin, 29.09.2022. URL: https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/waermepumpe/05_Presse/01_Pressemitteilungen/Finale_Ergebnisdokumentation_Langfassung_221010.pdf

- [Letz et al. 2025] Letz, C.; Rode, J.; Römer, D.: Die Wärmepumpe etabliert sich in Europa – der Strompreis als Faktor. Fokus Volkswirtschaft Nr. 487, KfW Research, Frankfurt am Main, 2025
- [Loga et al. 2005] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2005. Url: <https://www.iwu.de/forschung/energie/kurzverfahren-energieprofil/>
- [Loga et al. 2015] Loga, T.; Stein, B.; Diefenbach, N.; Born, R.: Deutsche Wohngebäudetypologie – Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 10.02.2015
- [Loga et al. 2019] Loga, T.; Stein, B.; Hacke, U.; Müller, A.; Großklos, M.; Born, R.; Renz, I.; Cischinsky, H.; Hörner, M.; Weber, I.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Berücksichtigung des Nutzerverhaltens bei energetischen Verbesserungen. BBSR-Online-Publikation 04/2019, Bonn, März 2019.
- [Loga EP-XL 2023] Loga, T.: EnergieProfil-XL, Excel Tool, entwickelt im Projekt MOBASY, Modellierung der Bandbreiten und systematischen Abhängigkeiten des Energieverbrauchs zur Anwendung im Verbrauch-scontrolling von Wohngebäudebeständen, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2023. Url: <https://www.iwu.de/forschung/energie/mobasy/>, abgerufen am 10.11.2023
- [Maas/Schlitzberger 2017] Maas, A.; Schlitzberger, S.: EnEV 2017 – Vorbereitende Untersuchungen, BMVBS-Online-Publikation Nr. 16/2017
- [Mailach/Oschatz 2021] Mailach, B.; Oschatz, B.: BDEW-Heizkostenvergleich Altbau 2021, ITG Dresden, 29.04.2021
- [Mercker et al. 2025] Mercker, O.; Yasin, M.; Büttner, C.; Lampe, C.; Pärish, P.: Energetische Bewertung von Maßnahmen zur hygienischen Absenkung der Trinkwarmwassertemperatur in Mehrfamilienhäusern mit Wärmepumpen, Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), Emmerthal, Jan. 2025. Url: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1925070921>
- [Neubert et al. 2024] Neubert, D.; Glück, C.; Wapler, J.; Marko, A.; Bongs, C.; Felsmann, C.: Field Trial Evaluation of a Hybrid Heat Pump in an Existing Multi-Family House before and after Renovation, Energies, Bd. 17, Nr. 6, S. 1502, März 2024, [doi: 10.3390/en17061502](https://doi.org/10.3390/en17061502).
- [Öko-Institut & Fraunhofer ISE 2022] Öko-Institut e.V. und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: Durchbruch für die Wärmepumpe. Praxisoptionen für eine effiziente Wärmewende im Gebäudebestand. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Berlin 2022
- [Peters et al. 2024] Peters, M.; Bartenstein, B.; Heibisch, H.; Christian Kaiser, C.; Ander, F.: Technikatalog Kommunale Wärmeplanung. Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA-BW), Stand März 2024, URL: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikatalog>
- [Seifert 2019] Seifert, H.-J.: Effizienter Betrieb von Wärmepumpen-Anlagen. Planungsfehler vermeiden, Probleme analysieren, Arbeitszahlen optimieren. VDE Verlag, Berlin, 2019
- [Sperber/Nast 2016] Sperber, S.; Nast, M. (DLR): Fachgutachten zum Fördersegment Wärmepumpe, in: Stuible, A. et al.: Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2012 bis 2014 – Evaluierung des Förderjahres 2014, Fichtner, Stuttgart, (revidierte finale Fassung) 2016
- [Swiderek et al. 2024] Swiderek, S.; Großklos, M.; Behem, G.: Wärmepumpen für bestehende Gebäude. Information für Hauseigentümer, Fassung vom 22.01.2024, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, 2024 . Url: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/2023_Swiderek-E-tAl_Waermepumpen_fuer_bestehende_Wohngebaeude.pdf, abgerufen am 11.07.2025
- [Wapler et al. 2019] Wapler, J.; Amendt, L.; Miara, M.; Oltesdorf, T. (Fraunhofer ISE): Anhang 4: Fachgutachten zum Fördersegment Wärmepumpe, in: Zech et al.: Evaluation und Perspektiven des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt im Förderzeitraum 2019 bis 2020; Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Url: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Evaluationen/Foerdermassnahmen/evaluation-marktanreizprogramms-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=8

- [VBZ RP 2025] Verbraucherzentrale Rheinland-Pfalz e.V.: Luft-Wasser-Wärmepumpen: Eine Auswertung von 160 Angeboten aus Rheinland-Pfalz, Mainz, Stand Juni 2025, Url: https://www.verbraucherzentrale-rlp.de/sites/default/files/2025-06/250605_vz-rlp_auswertung_wp_angebote.pdf
- [Werner et al. 1996] Werner, A.; Bigler, R.; Niederhauser, A.; et al.: Grundlagen für die Nutzung von Wärme aus Boden und Grundwasser im Kanton Bern. Thermoprogramm Erdwärmesonden. Schlussbericht. Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern (WEA), Burgdorf, 1996
- [WPZ 2024] Wärmepumpentestzentrum, Ostschweizer Fachhochschule: Prüfergebnisse Luft/Wasser-Wärmepumpen basierend auf der EN 14511 und EN 14825, 21.05.2024

Anhang A Zusatzauswertungen der Messdaten

A.1 Vergleich Wärmemessung intern/extern bei Teilnehmer 84

Nur von einer Wärmepumpenanlage liegen Wärmedaten aus der Anlage und zusätzlich gemessene Daten aus Wärmezählern (WMZ) vor. Bei der Anlage von Teilnehmer 84 handelt es sich um eine Erdreich-Wärmepumpe mit 14 kW Wärmenennleistung, die ein Gebäude mit einem gemischten Wärmeübergabesystem versorgt. Die Anlage verfügt über einen großen Pufferspeicher (750 l) für den Heizbetrieb und einen großen Pufferspeicher für die Warmwasserversorgung (500 l), der über eine Frischwasserstation entladen wird. Beide Speicher besitzen einen Heizstab für den Notfall, die aber deaktiviert sind. Für die Anlagen liegen zudem Stromverbrauchswerte aus der Anlage und der Gesamtstromverbrauch von einem externen Stromzähler vor.

Die Stromverbrauchswerte aus der Anlage wurde aus den angezeigten Werten für erzeugte Wärmemenge und verwendete Umweltenergie ermittelt. Die Differenz der Werte wurde als Kompressorstromverbrauch angesetzt und dann mit abgeschätzten Verbrauchswerten der weiteren Anlagentechnik angereichert (siehe Kapitel 3.1.4, bzw. Anhang B.2) und so auf den Bilanzrahmen angepasst. Vom externen Stromzähler wird die komplette Anlagentechnik erfasst, so dass hier Umwälz-, Ladepumpen, die Frischwasserstation und die Zirkulation in Abzug gebracht wurden. Trotz der Korrektur verblieb bei den Stromverbrauchswerten noch eine relativ hohe Differenz zwischen extern gemessenen und internen Werten von 14,6 %, was auch in den Abweichungen der ermittelten JAZ in Bild 9 (Anlage 84) zu erkennen ist. Vom Hersteller lagen keine Angaben zur Einordnung der angezeigten Daten aus der Wärmepumpensteuerung und der internen Wärmemengenermittlung vor, bei dieser Anlage liegen somit sehr ungünstige Randbedingungen vor.

In die JAZ-Auswertung sind die internen Wärmedaten aus der Wärmepumpensteuerung eingegangen, da diese Daten auch bei den meisten anderen Anlagen verwendet werden.

Die Jahressummen der Wärmemengen aus WMZ und Steuerung unterscheiden sich im Jahr 2024 nur um 109 kWh (entspricht 0,5 % der gesamten Wärmemenge am WMZ), die die Wärmepumpe mehr ausweist als der WMZ (Tabelle 20).

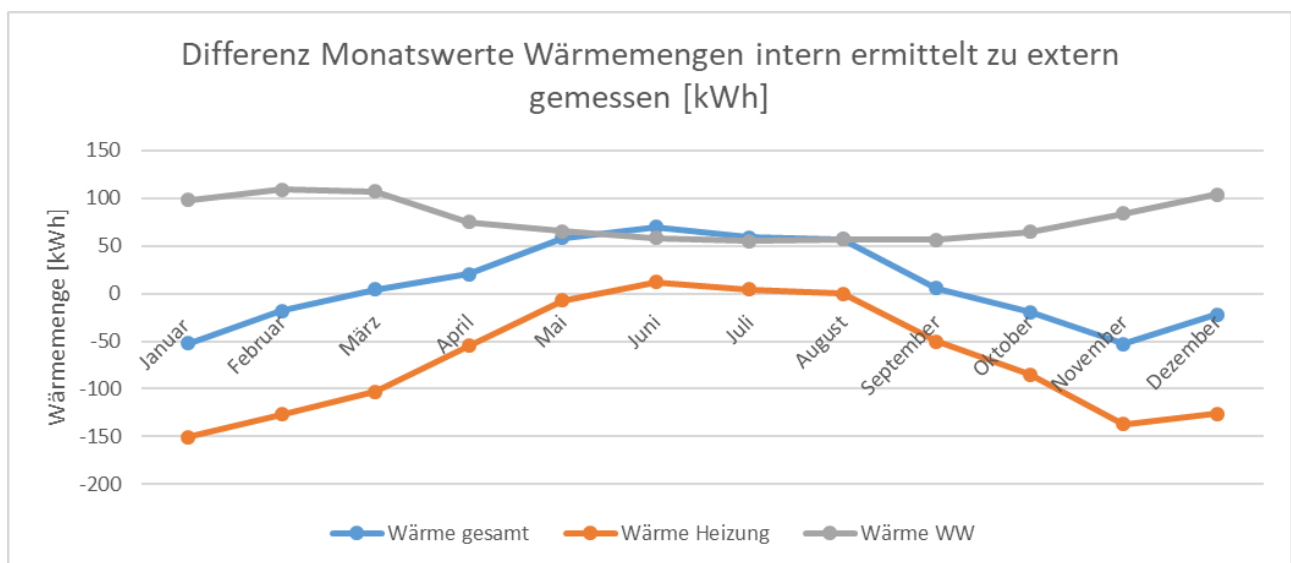
Tabelle 20: Vergleich Wärmemengen intern ermittelt und extern gemessen

	Heizen [kWh/a]	Warmwasser [kWh/a]	Gesamt [kWh/a]
WP Daten	16.608	5.076	21.685
WMZ Daten	17.432	4.144	21.576
Differenz WP - WMZ	824	-933	-109

Betrachtet man die einzelnen Verbrauchsbereiche, treten jedoch größere Unterschiede auf, daher wurden die Daten weiter aufgeschlüsselt und auf Monatsebene ausgewertet. Bei den Monatswerten schwankt die Differenz intern zu extern bei der Gesamtwärmeerzeugung zwischen +70 kWh im Sommer und -53 kWh im Winter. Aus Tabelle 21 und Bild 114 ist zu erkennen, dass die Energiemengen der internen Ermittlung im Winter tendenziell unterschätzt und im Sommer überschätzt werden. Betrachtet man die Heizwärmeerzeugung und die Warmwasserbereitung getrennt, bilden sich hier größere Differenzen, die bis zu -150 kWh voneinander abweichen. In Bild 114 ist gut zu sehen, dass die Wärmemenge der Warmwasserbereitung bei der internen Ermittlung eher unterschätzt wird und die der Heizenergieerzeugung eher überschätzt werden. Die monatlich auftretenden Differenzen gleichen sich im Mittel über das Jahr weitestgehend aus.

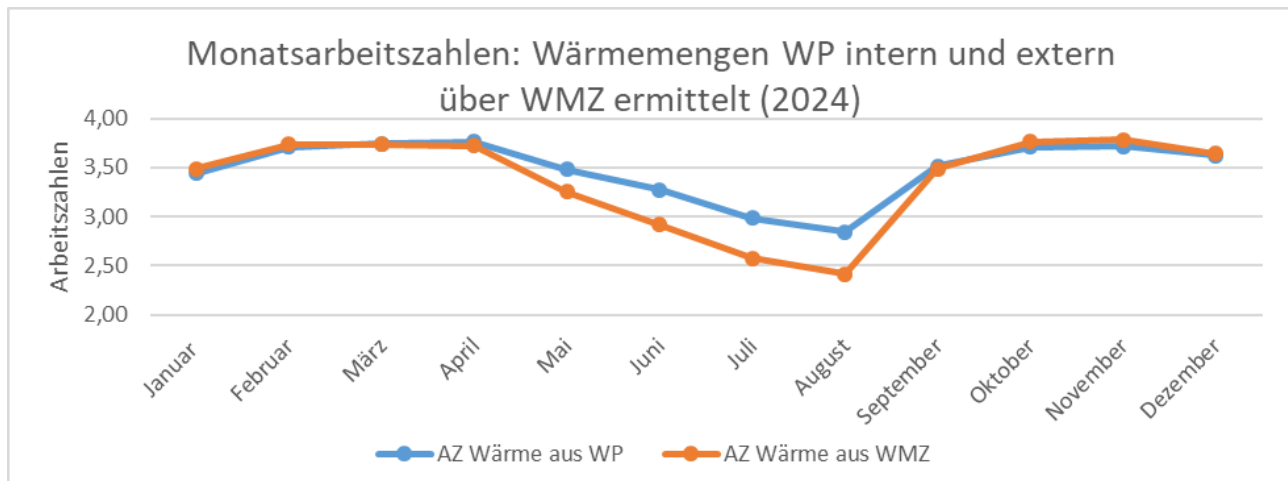
Tabelle 21: Differenz Monatswerte Wärmemengen intern ermittelt zu extern gemessen

2024	Diff. Wärme gesamt [kWh]	Diff. Wärme Heizung [kWh]	Diff. Wärme Warmwasser [kWh]
Januar	-52	-150	98
Februar	-18	-127	109
März	4	-103	107
April	20	-55	75
Mai	58	-7	65
Juni	70	12	58
Juli	59	4	55
August	57	0	57
September	6	-50	56
Oktober	-20	-85	65
November	-53	-137	84
Dezember	-22	-126	104
Summen	109	-824	933

Bild 114: Differenz Monatswerte Wärmemengen intern ermittelt zu extern gemessen


In der Summe ergibt sich für diese Anlage, dass in der Jahresbetrachtung die Abweichungen der Wärmemengen-ermittlung intern nur um 0,5 % von den extern gemessenen Werten abweicht. Bei der Einzelbetrachtung der Erzeugungsbereiche sind die Abweichungen deutlich größer.

Betrachtet man den Einfluss auf die monatlichen Arbeitszahlen sieht man größere Abweichungen nur bei den Sommermonaten mit wenig bzw. keiner Heizwärmeerzeugung (Bild 115). Bei der Jahresarbeitszahl ist die Abweichung erst in der zweiten Nachkommastelle relevant.

Bild 115: Monatsarbeitszahlen aus interner Wärmemengenermittlung und externer Messung (2024)

A.2 Sonderauswertungen von Feldtestgebäuden mit verfügbaren Tageswerten

Von drei Wärmepumpen konnten aus der Steuerung bzw. der App Tageswerte des Energieverbrauchs und der Energieerzeugung ausgelesen und ausgewertet werden. Die Daten wurden mit den Tagesmittelwerten der Außentemperaturen angereichert. So konnten aus den Daten Tageswerte der Arbeitszahlen bestimmt werden.

Es liegen Daten der Teilnehmern 62, 49 und 54 vor. Alle Monoblock-Wärmepumpen wurden 2022 in Betrieb genommen. Die Anlage 54 ist eine bivalente Wärmepumpenanlage mit einem eingestellten Bivalenzpunkt von 0 °C, die Anlage schaltet nach Angabe des Besitzers jedoch aufgrund der Sensorposition erst ab ca. -3 °C um. Weitere Daten von Gebäude und Anlage können Tabelle 22 entnommen werden.

In der Auswertung der Jahresarbeitszahlen liegen die Anlagen mit JAZ von 3,1 - 3,3 sehr dicht beieinander.

Trägt man wie in Bild 116 die Tageswerte der Arbeitszahlen (AZ) über der Außentemperatur auf zeigt sich, dass bei Außentemperaturen von 6 – 12 °C die Anlage 54 etwas besser abschneidet als die beiden anderen Anlagen. Bei Anlage 62 könnte die steilere Heizkurve zu höheren Vorlauftemperaturen und zu etwas geringeren Arbeitszahlen führen.

Im Betrachtungszeitraum liegt die kleinste Anlage (49) mit nur 5 kW Wärmenennleistung in der Effizienz ganz leicht über den beiden anderen Anlagen. Die Wärmepumpe besitzt zwar einen etwas niedrigeren COP, jedoch hat sie die Heizkurve mit der niedrigsten Neigung und somit durchgehend geringere Vorlauftemperaturen als die größeren Anlagen.

Die Arbeitszahlen liegen bei den Anlagen 54 und 62 in Bereich von um die 2°C tendenziell unterhalb der Ausgleichsgeraden, was auf den Einfluss der Abtauung der Außenanlage hindeuten kann. Dieser Effekt nimmt mit niedrigeren Temperaturen und sinkender absoluter Luftfeuchtigkeit wieder etwas ab. Bei Anlage 49 ist der Effekt nur auf den Temperaturbereich 2 und 0°C begrenzt.

Die etwas steilere Heizkurve und die etwas schlechtere Gebäudehülle sind wahrscheinlich zum Teil dafür verantwortlich, dass bei Anlage 54 die Arbeitszahlen mit sinkender Außentemperatur schneller abnehmen.

Die Lage und Neigung der Ausgleichsgeraden bzw. die Effizienz der Anlage hängt sicherlich stark von der Heizkurve ab, jedoch spielen auch die Lage des Gebäude, die Fensterflächen, die Sonneneinstrahlung, die Außentemperatur sowie die Luftfeuchtigkeit und die Anlagenparameter eine Rolle, so dass die Interpretation der Daten mit vielen Unsicherheiten behaftet ist.

Tabelle 22: Rahmendaten der drei ausgewerteten Anlagen

	62	49	54
Baujahr Gebäude	1979	1933	1988
H_T' Gebäude	0,49 [W/m²K]	0,47 [W/m²K]	0,62 [W/m²K]
Höhenlage	174 m	144 m	199 m
Lage	Ländlich Ortsrand	Innerstädtisch Wohngebiet	Innerstädtisch Wohngebiet
Nennleistung WP	12 kW	5 kW	7 kW
Kältemittel	R290	R290	R290
COP A-7/W35	2,71	2,55	2,75
COP A2/W35	4,58	3,89	4,5
COP A7/W35	5,61	4,8	5,33
JAZ 2024	3,1	3,3	3,3
Max. Vorlauftemperatur	55 °C	50 °C	50 °C
Heizkurve Neigung	0,9	0,55	0,65
Soll-Raumtemperatur	20 °C	20,5 °C	21 °C
Nachtabenkung auf	16 °C	Abschaltung	Innentemperatur geführt bis 19°C Raumtemperatur
Absenkzeiten	21:00 Uhr – 5:00 Uhr	21:30 - 6:00 Uhr	22:00 - 6:00 Uhr

Um Einflüsse der Außentemperatur aufzuzeigen sind in Bild 117 die Temperaturverläufe von zwei kalten Tagen als Stundenmittelwerte aufgetragen. Die tiefsten Temperaturen liegen in den Morgenstunden zwischen 7 und 9 Uhr und die höchsten Temperaturen am frühen Nachmittag. Bei Anlage 54 schwankt somit (aus Bild 116 abgelesen) die JAZ am 08.02.2023 von einer AZ ungefähr von 1,54 (8 Uhr) bis 3,43 (15 Uhr).

Die Zeiten mit den niedrigen AZ korrelieren mit den Aufheizzeiten nach einer Nachtabenkung, wenn das Gebäude wieder hochgeheizt werden muss. Bei besser gedämmten Gebäuden, die nur wenig auskühlen bzw. weniger Wärmeverluste besitzen, ist der Einfluss geringer. Bei der Warmwasserbereitung kann der Effekt noch einmal deutlich größer hervortreten. Wird die Warmwasserbereitung in die Tagesstunden nach 12:00 Uhr verlegt, steigt die Anlageneffizienz, da die Außentemperatur von -5,4 °C um 8:00 Uhr auf 4,9 °C um 15:00 Uhr ansteigt.

Je nach Betriebszeiten der Wärmepumpen und Tagesverlauf können so unterschiedliche mittlere Effizienzen entstehen. Dieser Effekt ist auch in der Streuung der Werte in Bild 116 zu vermuten. Mit steigender Außentemperatur nimmt die Streuung der Werte zu, da durch den geringeren Heizwärmebedarf und damit die kürzeren Laufzeiten der Wärmepumpe die tägliche Schwankungsbreite zunehmen kann. Ggf. wird die Anlage an einem sonnigen Tag mit einer mittleren Außenlufttemperatur von 11 °C nachmittags nicht betrieben und erst mit Sonnenuntergang wieder benötigt.

Bild 116: Tagesmittelwerte der Arbeitszahlen (AZ) von drei Wärmepumpen in Abhängigkeit von der Außentemperatur (2024)

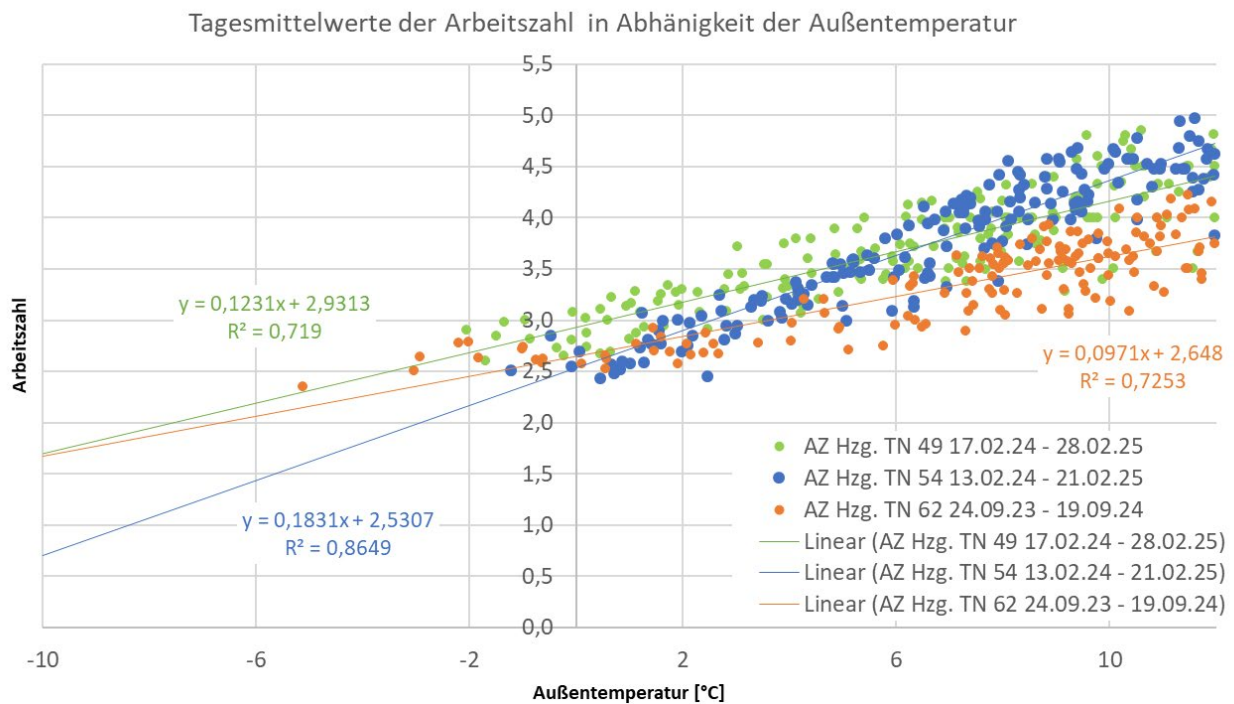
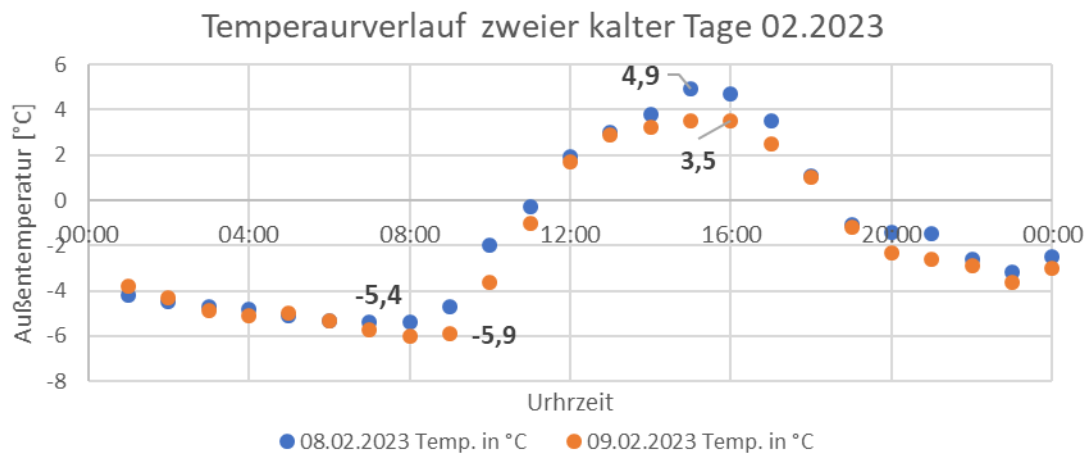


Bild 117: Temperaturverlauf zweier kalter Tage 02.2023 (Darmstadt)



Anhang B Ansätze zur Anpassung der Bilanzgrenze

B.1 BEG-Anforderungen und Abgleich mit Herstellerinformationen

Um die unterschiedlichen Anlagen vergleichen zu können, müssen die Energieverbrauchs- und Energieerzeugungsdaten einem einheitlichen Bilanzrahmen besitzen. Da alle Hersteller die Anforderungen der Förderrichtlinie der BAFA [BAFA 2020, Seite 16] leicht anders interpretieren und sich diese auch in Laufe der Zeit leicht geändert haben, sind dementsprechend die Bilanzrahmen nicht identisch. Teilweise sind auch die Bilanzrahmen bei einem Hersteller bei unterschiedlichen Modellen, Steuerungen oder auch Softwareversionen verschieden.

Anforderungen BEG zur Energiedatenerfassung:

Nach Rücksprachen mit dem BMWK [BMWK 2024] gibt es außer den Anforderungen in der Förderrichtlinie zum BEG keine weiteren Anforderungen zur Ermittlung der Energiedaten.

Die Förderrichtlinie des Bundes für effiziente Gebäude (BEG EM) gab bis 30.12.2022 vor:

„Alle Energieverbräuche sowie alle erzeugten Wärmemengen eines förderfähigen Wärmeerzeugers müssen messtechnisch erfasst werden“.

Diese Vorgabe wurde von den Herstellern in der Regel erzeugungsseitig durch die Wärmemengenermittlung in der Wärmepumpe und verbrauchsseitig durch den in der Regel vorhanden externen Stromzähler (Wärmepumpenzähler vom Stromversorger (EVU)) erfüllt. Wurde die Wärmepumpe nicht über einen Wärmepumpentarif mit eigenem Zähler betrieben, wurde ein Zwischenzähler eingebaut, um den Stromverbrauch der Wärmepumpe zu erfassen.

Seit der „Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)“ vom 30.12.2022 gilt zudem:

„Alle förderfähigen Heizsysteme müssen mit einer Energieverbrauchs- und Effizienzanzeige ausgestattet sein.“

Diese neue Energieverbrauchs- und Effizienzanzeigenpflicht führte dazu, dass die Hersteller nicht nur die Wärmemengen im Gerät erfassen mussten, sondern zudem auch der Stromverbrauch ermittelt werden muss, damit die geforderte Effizienzanzeige realisiert werden kann.

Zu den eher allgemeinen und umfassenden Anforderungen der Förderrichtlinie gibt es eine Konkretisierung in der Liste der technischen FAQ zu den BEG EM.

Liste der technischen FAQ – BEG EM

Version 1.0 01.03.2021 bis Version 6.0 (06/2024)

8.01 Energieverbräuche und Wärmemengen messen

Die Energieverbräuche eines förderfähigen Wärmeerzeugers müssen durch Bilanzierungs-/Messtechnik erfasst werden. Beim Einsatz von Wärmepumpen gehören dazu auch die benötigten Hilfsstrommengen zum Betrieb von Elektro-Heizstäben und Wärmequellenpumpen.

Ebenfalls zu erfassen sind die erzeugten Wärmemengen.

Hinsichtlich der Ausgestaltung und der Genauigkeit der eingesetzten Bilanzierungs-/Messtechnik bestehen keine Anforderungen. Eingesetzte technische Komponenten müssen nicht geeicht sein.

Durch diese Konkretisierung werden die Anforderungen teilweise deutlich relativiert, der Energieverbrauch muss nicht mehr gemessen werden, sondern kann auch bilanziert werden. Es wird konkretisiert, dass Heizstäbe und alle Stromverbräuche der Quellenerschließung (Pumpen, Lüfter, usw.) zum Wärmeerzeuger

gehören und somit miterfasst werden müssen. Auch die mit dem Heizstab erzeugten Wärmemengen sind bei der Wärmeerzeugung zu erfassen.

Die umfassenden Vorgaben des BEG *„Alle Energieverbräuche sowie alle erzeugten Wärmemengen eines förderfähigen Wärmeerzeugers müssen messtechnisch erfasst werden“* bieten immer noch Interpretationsspielraum der zu berücksichtigen ist.

Wärmemengen:

Alle erzeugten Wärmemengen beinhalten klar die vom Kompressor erzeugten Wärmemengen, jedoch nicht zwingend die ggf. extern angebauten elektrischen Zusatzheizungen, daher die Konkretisierung in den FAQ zum BEG (grauer Kasten oben) die ab 2021 ergänzt wurde. Die Abtauenergie, die bei LW-WP in den Wintermonaten anfällt, wird nach wie vor von einigen Herstellern bei den erzeugten Wärmemengen abgezogen von anderen auch nicht. Die wenigsten Hersteller haben Wärmezähler verbaut, die warmwasserseitig die erzeugten Wärmemengen messen, meist werden die erzeugten Wärmemengen aus den internen Kompressordaten ermittelt.

Stromverbrauch:

Beim Stromverbrauch ist der Spielraum teilweise noch größer, beschränkt man die Energieverbräuche auf den Wärmeerzeuger kann das u.U. nur der Kompressor sein. Steuerungen, Frostschutzeinrichtungen, Kurbellsumpfheizungen, Stand-by Verbräuche und anderen optionale Komponenten bleiben dann ggf. unberücksichtigt. Einige Hersteller berücksichtigen auch den Stromverbrauch von Ladepumpe für Speicher oder eingebaute Heizkreispumpen. Wird der Stromverbrauch im Gerät ermittelt, sind auch hier in den meisten Fällen keine Stromzähler vorhanden. Die Stromverbrauchsdaten des Kompressors werden meist aus dem Inverter (Leistungsregler des Kompressors) ausgelesen und dann über Offsets / Preset und den Laufzeiten der Komponenten ausgerechnet. Wird zum Beispiel der Heizstab auf Stufe 1 mit der Leistung 3 kW eine Stunde betrieben, werden 3 kWh zum Stromverbrauch und zur Wärmeerzeugung addiert. Läuft eine Speicherladepumpe mit 100 W für eine Stunde wird der Stromverbrauch berücksichtigt.

Teilweise müssen die Leistungen der Komponenten vom Installateur bei der Inbetriebnahme entsprechend der verbauten Komponenten parametrieren werden.

Ist ein externer Stromzähler vorhanden, werden alle Stromverbräuche erfasst, die von den angeschlossenen Geräten verbraucht werden. Da jedoch alle Geräte mehr als eine Anschlussleitung besitzen, muss trotzdem geklärt werden, was konkret an den Stromzähler angeschlossen ist.

Wird die WP über einen WP-Stromtarif mit extra (EVU) Zähler betrieben, müssen nicht alle Verbraucher auch über diesen Zähler betrieben werden. Das ist teilweise von den Vorgaben des örtlichen EVU abhängig. Teilweise können oder müssen Heizstäbe mit über diese Zähler laufen, das ist jedoch nicht immer einheitlich festgelegt. Früher wurden die Kompressoren über einen Rundsteuerempfänger und ein Trennrelais abgeschaltet. Damit Steuerung und Pumpen weiter betrieben werden konnten, wurden diese an den Haushaltsstromzähler angeschlossen und somit nicht vom Stromzähler der Wärmepumpen erfasst. Gleiches gilt für Komponenten, die zum sicheren Betrieb der Anlage auch im Falle einer Abschaltung weiterlaufen mussten. Heute werden meist nur Steuersignale an die Wärmepumpensteuerung übermittelt und dann der Kompressor entsprechend von der Regelung ausgeschaltet. Hier könnten dann alle Komponenten über den Wärmepumpenstromzähler erfasst werden.

Wird der Wärmepumpenstrom von einem Zwischenzähler erfasst, kann dieser Zähler wie ein EVU Wärmepumpenstromzähler angeschlossen sein, es können aber auch einfach alle Verbraucher der Heizungsanlage, also ggf. auch Pumpen, Solaranlagen und ggf. weitere Komponenten miterfasst sein.

B.2 Anpassungen bei den Einzelgebäuden

In Abschnitt 3.1.4 ist das grundsätzliche Vorgehen bei der Anpassung der Daten an die definiert Bilanzgrenze beschrieben. Auch die Korrektur der Abtauenergie, wenn dies von den Herstellern nicht berücksichtigt wurde, wird dort beschrieben.

Im Folgenden werden Details der Korrektur dokumentiert, jedoch nicht jede Korrektur einzeln beschrieben. Alle Korrekturen wurde auf Monatsbasis durchgeführt und dann in die Auswertblätter der einzelnen Anlagen übertragen.

In Tabelle 23 ist beispielhaft eine Korrekturtabelle für 2023 dargestellt. In den oberen Zeilen kann ausgewählt werden, welche Verbraucher bei der Korrektur der internen oder externe Daten berücksichtigt werden. Im Beispiel fehlt bei der internen Ermittlung der Stromverbrauch der Steuerung und auch die Stand-by-Verluste der WP werden nicht berücksichtigt. Bei der externen Messung fehlt nur die Heizungssteuerung, da diese nicht über den WP-Tarifzähler erfasst wird und muss ebenfalls addiert werden. Die Korrekturwerte der Monatswerte stehen dann in den rechten Spalten.

Tabelle 23: Auszug Rechenblatt Korrektur des Stromverbrauchs an die Bilanzgrenze

		Intern Enthalten	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1		
		Externe Zähler	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
	Laufstunden WP / Solepumpe [h/m]	Warmwasser Ladepumpe [h/m]	H + W [h]	Solepumpe [kWh]	Ladepumpe WW [kWh]	Frischwasser- station [kWh]	Umwälzpumpen Heizung [kWh]	Ladepumpe Puffer [kWh]	Zirkulation [kWh]	Heizungssteuerung [kWh]	Standbyverluste WP [kWh]	Summe Technikstrom (Externer Zähler)	Summe Technikstrom (WP intern)	
2023														
Jan	639	20	659	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	2,5	6	8	
Feb	596	20	616	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	1,7	6	7	
Mrz	449	20	469	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	7,5	6	13	
Apr	334	20	354	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	11,0	6	17	
Mai	47	20	67	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	20,3	6	26	
Jun	0	20	20	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	21,0	6	27	
Jul	0	20	20	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	21,7	6	27	
Aug	0	20	20	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	21,7	6	27	
Sep	14	20	34	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	20,6	6	26	
Okt	157	20	177	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	17,0	6	23	
Nov	468	20	488	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	7,0	6	13	
Dez	600	20	620	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,76	3,7	6	9	
Summe	3304	240	3544	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,1	155,8	69	225	

Die berücksichtigten Leistungen werden in einer gesonderten Tabelle eingetragen (siehe Tabelle 24), im Beispiel sind die Standartwerte zusehen die verwendet wurden, wenn keine Herstellerangaben bekannt waren. Lagen Angaben der Hersteller oder aus anderen Quellen (Typenschilder, Messdaten usw.) vor, wurden diese verwendet.

Tabelle 24: Auszug Rechenblatt Anlagenleistungen

Vorhanden (Anzahl)	Watt	Umwälzpumpe Heizung
0	15	Leistung FB Heizung
0	10	Leistung HK Kreis
0	10	Ladepumpe Puffer
	80	Solepumpe
0	5	Zirkulationspumpe
	17,5	Laufzeit Zirkulation pro Tag [h]
1	8	Heizungssteuerung [W]
	50	Frischwasserstation vorhanden 1 / 0, Verbrauch siehe Nebenrechnung
0	10	Ladepumpe Warmwasserspeicher
1	30	Standbyverbrauch WP [W] außerhalb der Betriebszeiten Nach Buchs 2022

Die Laufzeiten der Pumpen wurden aus den vorliegenden regionalen Wetterdaten abgeleitet. Dazu wurde die Heiztage und die Gradtagzahlen der Standorte aus dem Excel-Tool Gradtagzahlen-Deutschland [IWU-GTZ] Stand 02.2025 verwendet.

Laufzeiten der Wärmepumpe bzw. einer ggf. vorhandenen Solepumpe wurde über die Jahreswärmeerzeugung der WP ermittelt. Dazu wurden die Vollbetriebsstunden der WP aus der Wärmeerzeuger ermittelt. Da die Wärmepumpen in der Regel ihre Leistung modellieren können, wurden diese Stunden pauschal mit 1,6 (Ad-hoc Ansatz) als Teillastfaktor multipliziert. Die resultierenden Betriebsstunden wurde dann im Verhältnis der lokalen Gradtagzahlen auf die Monate verteilt.

Die Laufzeiten der Ladepumpen des Warmwasserspeichers wurden über die Energieerzeugung der Warmwasserbereitung abgeschätzt. Der mittlere Energieverbrauch der Warmwasserbereitung konnte aus den sommerlichen Energiedaten abgeschätzt werden, auch wenn die Warmwasserbereitung nicht gesondert ausgewiesen wurde. Wurden im Juli und August z. B. jeweils rund 250 kWh/Monat Wärme erzeugt, wurde dieser Wert als Warmwasserwärmebedarf angesetzt und durch die Nennwärmeleistung der WP geteilt. Daraus resultieren dann die Betriebsstunden zur Warmwasserbereitung und die Ladezeiten der Pumpe.

Die Laufzeit der Heizungsumwälzpumpe wurde aus der Summe der Stunden der Heiztage bestimmt, die Laufzeiten der Zirkulationspumpen wurden aus den vorhandenen Angaben ermittelt.

Der Stromverbrauch der Steuerung wurde aus den Stundensummen der Tage (30 pro Monat) abgeschätzt. Der Stand-by-Verbrauch der WP wurde nur zu den Stillstandszeiten der WP berücksichtigt. Diese Zeiten wurde über die Stundensummen der Monate abzüglich der Laufzeiten der WP ermittelt. In den Sommermonaten mit geringen Laufzeiten ergaben sich dadurch höhere Stand-by-Verbräuche.

Der Stromverbrauch einer ggf. vorhandenen Frischwasserstation wurde über angesetzte Laufzeiten und Nutzungshäufigkeiten bestimmt. Der Ansatz ist in Tabelle 25 beispielhaft dargestellt. Die Nutzungen, Leistungen und Laufzeiten wurden individuell je nach Gebäude angepasst.

Tabelle 25: Abschätzung Energieverbrauch Frischwasserstation

Laufzeit Frischwasserstation					
Pumpe nur beim Wasserzapfen.				Annahme	
Anzahl pro Tag		Stunden	Summe	Pumpenleistung [W]	Energieverbrauch [kWh/d]
1	Duschen	0,2	0,2	50	0,01
10	Händewasche	0,01	0,1	30	0,003
2	Spülen	0,1	0,2	40	0,008
1	Zirkulation	6	6	15	0,09
1	Steuerung	24	17,5	1	0,0175
	Summe		6,5		0,1285
Energieverbrauch Frischwasserstation					
	Max Leistung Pumpe		50	Watt	
	Tag		0,13	kWh	
	Monat		3,9		
	Jahr		47		

Die Tabellen wurden nach Bedarf an die örtlichen Gegebenheiten angepasst, die Standardwerte deckten aber die meisten vorkommenden Fälle ab. Die angesetzten Leistungen der Pumpen entsprechen, wenn keine Herstellerangaben vorlagen, den Praxiserfahrung zu mittleren Leistungen von Pumpen im Heizungsbetrieb.

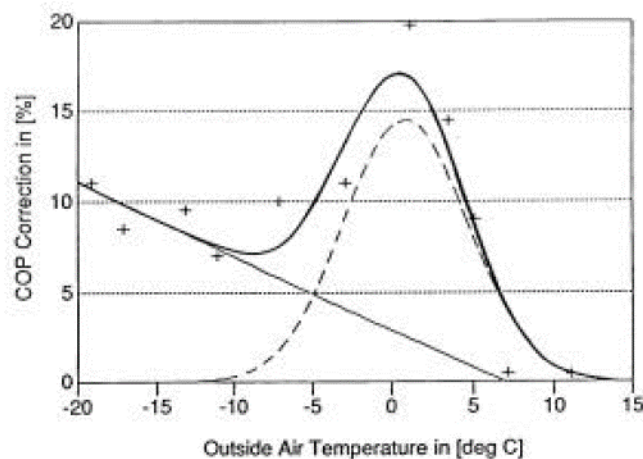
Wenn Zwischenzähler vorhanden waren und nicht bekannt war, welche Komponenten wirklich erfasst werden wurde angesetzt, dass die Zähler wie ein EVU Zähler eingeschlossen sind. Die Steuerung ist dann wie im Beispiel über den Haushaltsstrom angeschlossen und somit nicht erfasst, für angeschlossene Heizungsverteilpumpen gilt dann das Gleiche. War bekannt, dass der komplette Heizungskeller erfasst wurde, mussten alle nicht dem Bilanzkreis zugehörige Komponenten (Pumpen, Frischwasserstation, Solaranlagen, Gaskessel, usw.) abgezogen werden. Solche Fälle waren aber eher die Ausnahme und mussten nur selten angewendet werden.

B.3 Abtauverluste

Der Betrieb von Luft-Wasser-Wärmepumpen bei niedrigen Außentemperaturen wird durch ein physikalisches Phänomen beeinträchtigt, das die Systemeffizienz reduziert: die Vereisung des Verdampfers. Wenn feuchte Außenluft am kalten Verdampfer abkühlt und die Oberflächentemperatur unter den Gefrierpunkt sinkt, kondensiert die Luftfeuchtigkeit und friert zu einer Eisschicht. Diese Eisbildung verschlechtert den Wärmeübergang zwischen Luft und Kältemittel und führt zu einem Leistungsabfall der Wärmepumpe. Um diesem Problem zu begegnen, verfügen moderne Wärmepumpen über automatische Abtausysteme, die jedoch selbst Energie verbrauchen und damit die Gesamteffizienz des Systems reduzieren.

Zur systematischen Erfassung dieser Effizienzverluste entwickelten Afjei et al. [Afjei et al. 1998] auf Basis der Grundlagenarbeiten von Werner et al. [Werner et al. 1996] ein empirisches Modell, das auf Messungen an Testanlagen basiert. Das resultierende Modell, dargestellt in Bild 118, beschreibt die Abtauverluste als Funktion der Außentemperatur mit einer Gauß-Verteilung.

Bild 118: Entwicklung der prozentualen Effizienzreduktion durch Abtauverluste in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur (Kreuze = Messpunkte; die Kurven zeigen unterschiedlich modellierte Fits auf Basis der Datenpunkte), Abbildung aus [Afjei et al. 1998]



Die Modellierung zeigt einen charakteristischen Verlauf der Effizienzverluste:

- Beginn der Verluste: Ab etwa 10 °C Außentemperatur treten erste messbare Abtauverluste auf.
- Maximum: Bei ca. 0 °C erreichen die Verluste mit etwa 17 % bezogen auf den COP ihren Höchstwert.
- Rückgang bei Frost: Bei tieferen Temperaturen unter 0 °C sinken die Verluste auf 7-11 %.

Der zunächst kontraintuitive Rückgang der Abtauverluste bei sehr niedrigen Temperaturen erklärt sich durch die abnehmende absolute Luftfeuchtigkeit: Sehr kalte Luft kann nur wenig Feuchtigkeit aufnehmen, wodurch weniger Eis am Verdampfer entsteht. Die kritischsten Bedingungen herrschen somit im Temperaturbereich um den Gefrierpunkt, wo die Kombination aus hoher relativer Luftfeuchtigkeit und Temperaturen knapp über 0 °C zu maximaler Eisbildung führt.

Die vorgestellten Werte müssen aber aus mehreren Gründen kritisch betrachtet werden. Erstens basiert das Modell auf einer Interpolation zwischen relativ wenigen Messpunkten, was die statistische Belastbarkeit einschränkt. Zweitens stammen die zugrundeliegenden Untersuchungen aus den 1990er Jahren, die Originaldaten sind somit fast 30 Jahre alt. In diesem Zeitraum hat die Wärmepumpentechnologie Fortschritte gemacht: Moderne Steuerungen erkennen den optimalen Abtauzeitpunkt präziser und minimieren unnötige Abtauzyklen, und andere innovative Methoden (z. B. Heißgasabtauung) reduzieren den Energieaufwand.

Die oben beschriebene Funktion erschien als nicht geeignet die Abtauverluste modernen Anlagen abzuschätzen. Bei Herstellern und in der Literatur findet sich eine große Bandbreite an Angaben und Abhängigkeiten zur Abschätzung der Abtauenergie. In der Arbeit von [Eschmann 2018, Seite 7] werden unterschiedliche COP mit und ohne Abtauung beschrieben. Für den Messpunkt A2Wxx-35 ergaben sich 5 bis 9 % höhere Effizienzen ohne Abtauung, jedoch wird auch auf die große Bandbreite der Ergebnisse hingewiesen. Daher wird hier ein pragmatischer Ansatz gewählt, wissend das es nicht mehr als eine grobe Abschätzung sein kann. Der Ansatz berücksichtigt das Verhalten der Wärmepumpen und Abtau Häufigkeit bei verschiedenen Temperaturen. Es wird angenommen, dass bei Außentemperaturen zwischen 0 - 5 °C 8 % der erzeugten Energie zum Abtauen benötigt wird und bei Temperaturen unter 0 °C 4 % zum Abtauen benötigt wird (geringere absolute Luftfeuchte bei kälteren Temperaturen).

Es wurden für vier Standorte (Darmstadt, Bad Nauheim, Riedstadt, Michelstadt) die Stundenwerte der Außentemperaturen ermittelt und aus diesen Daten monatsweise die Stundesummen mit Temperaturen zwischen 0 - 5 °C und unter 0 °C berechnet. Aus diesen Daten konnten dann anteilig Abtauverluste entsprechend der Außentemperaturen bestimmt werden. Für Temperaturen über 5 °C wurde angenommen, dass eine natürliche Abtauung in den Stillstandszeiten der Anlagen erfolgt, bzw. kein Eis angesetzt wird.

Als Vergleichswerte lagen leider nur von einer Anlage in Darmstadt Monatsdaten für 2023 vor. In Tabelle 26 sind die monatlichen Abtauverluste des oben beschriebenen Modells und der realen Anlage dargestellt. Nach den Anlagendaten lagen die Abtauverluste der Anlage bei 226 kWh bzw. 2,02 % der Energieerzeugung und das Modell liefert Abtauverluste von 263 kWh bzw. 2,35 %. Diese Abweichung wurde als ausreichende genau angesehen um das Modell anzuwenden, wohlwissend, dass lokale Schwankungen des Kleinklimas (Innerstädtisch, Außerorts, Flussnähe, Feuchtgebiete, Windhäufigkeit usw.) und der Anlagenbetrieb (Leistung, Laufzeiten, usw.) zu deutlichen Schwankungen bei der Vereisung und der benötigten Abtauenergie der Anlagen führen kann.

Tabelle 26: Vergleich der im Modell abgeschätzten Abtauverluste und einer Anlage aus Darmstadt mit ausgewiesenen Werten (Daten Anlage 77 aus 2023)

2023	Jahreswert	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Modellansatz	2,35%	3,6%	3,5%	2,3%	1,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	2,1%	2,7%
Daten	2,02%	3,4%	2,5%	1,5%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	2,2%	2,7%

B.4 Korrekturen der Verbrauchsdaten

In Tabelle 27 sind die Abweichungen der einzelnen Anlagen (Stromdaten aus WP) vom Mittelwert noch einmal einzeln aufgelistet. Im Mittel ergibt sich daraus für 2024 eine verbleibende Abweichung bzw. der genannte Korrekturwert von -3,6 % für die Anlagen bei denen die JAZ aus WP-internen Stromdaten ermittelt wurden und +3,6 % für Anlagen bei denen Zählerdaten vorlagen. In Bild 119 sind die daraus resultierenden Abweichungen der einzelnen Anlagen dargestellt. Da die Korrekturfaktoren in unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen leicht variieren, wurden diese für alle Betrachtungszeiträume gesondert ermittelt und berücksichtigt (siehe Tabelle 28).

Tabelle 27: Abweichung der JAZ von den Mittelwerten aus interner und externer Stromzählung (2024)

Teilnehmer	Abweichung vom WP-internen Wert zum Mittelwert
6	1,2%
7	-0,2%
30	-3,0%
41	-0,5%
54	-5,4%
58	-8,0%
63	-4,1%
64	-1,9%
76	-2,5%
84	-7,9%
85	-7,4%
Mittlere Abweichung / Korrekturfaktor	-3,6%
Maximum	1,2%
Minimum	-8,0%

Bild 119: Absolute Korrekturwerte der JAZ

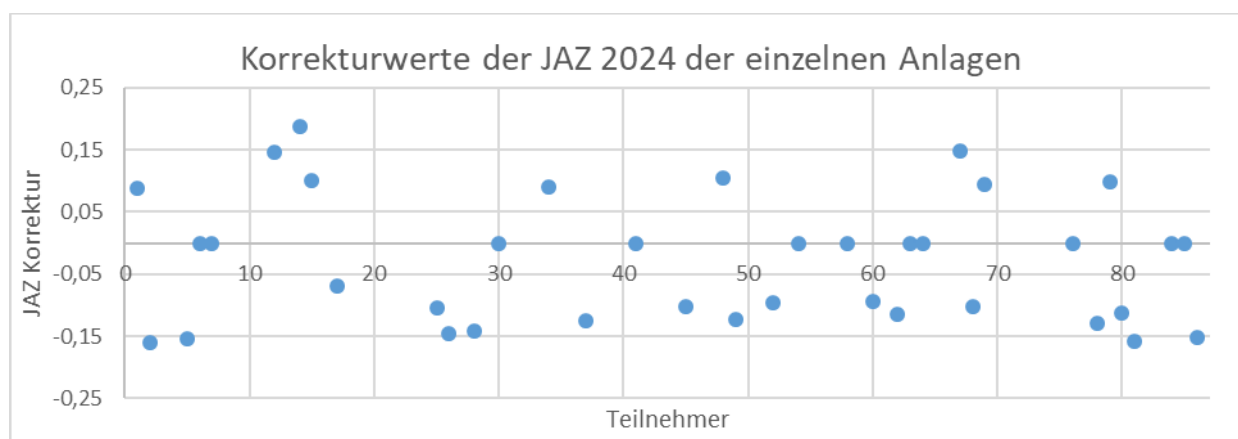


Tabelle 28: Korrekturfaktoren der Betrachtungszeiträume

Zeitraum	Korrekturfaktor
2023	+/- 3,2 %
2023-24	+/- 3,1 %
2024	+/- 3,6 %
2024-25	+/- 2,8 %
2025	+/- 2,8 %

Anhang C Bilanzergebnisse der Modellgebäude

Im Folgenden sind Energiebilanzen der Modellgebäude (EFH und MFH) dargestellt, die mit dem Programm Polysun berechnet und als Eingangsdaten für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendet wurden.

Einfamilienhaus (EFH)

Name	ME_a_unsan	ME_b_unsan	ME_c_unsan	MV_unsan	BV_a_unsan	BV_b_unsan	K_unsan
Gebäudetyp	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH
Hydraulik	M1	M1	M1	M1	B4	B4	Kessel allein
Betriebsart (ME= monoenergetisch, MV= monovalent, BV=bivalent)	ME	ME	ME	MV	BV	BV	-
Zusatzzeuger	HS	HS	HS	HS	Kessel	Kessel	-
Sanierungszustand	unsan.	unsan.	unsan.	unsan.	unsan.	unsan.	unsan.
Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) QH [kWh]	22959	23009	22825	22888	22782	22586	23123
Warmwasser-Verbrauch (Nutzwärme) QWW [kWh]	2990	3005	3024	3042	2901	2894	3079
Gesamt-Wärmeverbrauch Qges ohne Verluste [kWh]	25949	26014	25849	25930	25683	25480	26202
Wärmeerzeugung gesamt inkl. Verteil- und Speicherverluste [kWh]	29881	29913	29908	29954	29879	29757	29648
Wärmeerzeugung Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	4374	7678	29648
Heizölverbrauch Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	5019	8628	31807
Wärmeerzeugung Heizstab [kWh]	4929	1976	510	0	0	0	0
Stromverbrauch Heizstab [kWh]	5251	2141	596	0	0	0	0
Wärmeerzeugung Wärmepumpe [kWh]	24952	27937	29398	29954	25505	22079	0
Stromverbrauch Wärmepumpe (inkl. WP-Hilfsstrom) [kWh]	8741	9238	10115	10552	8842	6818	0
Sonstiger Hilfsstromverbrauch (außerhalb WP) [kWh]	54	54	55	57	116	117	72
Gesamt-Strombezug aus dem Stromnetz [kWh]	17546	14933	14266	14109	12458	10435	3572
Haushaltsstromverbrauch [kWh]	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Hülle + Lüftung) [W/m²]	116	116	116	116	116	116	116
Nennleistung der Wärmepumpe (bei A-7/W55) [kW]	8.9	10.7	13.4	17.8	8.9	7.1	-
Installierte Heizkörperleistung (bei 70/60) [kW]	18	18	18	18	18	18	18
COP ohne HS	2.85	3.02	2.91	2.84	2.88	3.24	-
COP inkl. HS	2.14	2.63	2.79	2.84	2.88	3.24	-
Effizienz Kessel	-	-	-	-	0.87	0.89	0.93
WP Deckungsanteil Nutzenergie	0.84	0.93	0.98	1.00	0.85	0.74	-
Deckungsanteil Zusatzheizer	16%	7%	2%	0%	15%	26%	-
Nutzwärme Heizung+TWW	25949	26014	25849	25930	25683	25480	26202
Stromverbrauch Heizung gesamt	14046	11433	10766	10609	8842	6935	72
Brennstoffverbrauch Heizung gesamt	0	0	0	0	5019	8628	31807

Name	ME_a_TS2	ME_b_TS2	ME_c_TS2	MV_TS2	BV_a_TS2	BV_b_TS2	K_TS2
Gebäudetyp	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH
Hydraulik	M1	M1	M1	M1	B4	B4	Kessel allein
Betriebsart (ME= monoenergetisch, MV= monovalent, BV=bivalent)	ME	ME	MV	MV	BV	BV	-
Zusatzzeuger	HS	HS	HS	HS	Kessel	Kessel	-
Sanierungszustand	TS2	TS2	TS2	TS2	TS2	TS2	TS2
Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) QH [kWh]	16751	16726	16620	16577	16913	16678	16894
Warmwasser-Verbrauch (Nutzwärme) QWW [kWh]	3012	3018	3031	3045	2876	2877	3079
Gesamt-Wärmeverbrauch Qges ohne Verluste [kWh]	19763	19744	19651	19622	19789	19555	19973
Wärmeerzeugung gesamt inkl. Verteil- und Speicherverluste [kWh]	23170	23142	23039	23077	23488	23306	23064
Wärmeerzeugung Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	1346	4012	23064
Heizölverbrauch Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	1463	4361	24800
Wärmeerzeugung Heizstab [kWh]	1312	300	36	0	0	0	0
Stromverbrauch Heizstab [kWh]	1438	371	90.1	0	0	0	0
Wärmeerzeugung Wärmepumpe [kWh]	21858	22842	23003	23077	22142	19294	0
Stromverbrauch Wärmepumpe (inkl. WP-Hilfsstrom) [kWh]	7648	7463	7571	7708	7368	5840	0
Sonstiger Hilfsstromverbrauch (außerhalb WP) [kWh]	43	41	48	52	409	111	60
Gesamt-Strombezug aus dem Stromnetz [kWh]	12629	11375	11209	11260	11277	9451	3560
Haushaltsstromverbrauch [kWh]	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Hülle + Lüftung) [W/m²]	86	86	86	86	86	86	86
Nennleistung der Wärmepumpe (bei A-7/W55) [kW]	8.9	10.7	13.4	17.8	8.9	7.1	-
Installierte Heizkörperleistung (bei 70/60) [kW]	18	18	18	18	18	18	18
COP ohne HS	2.86	3.06	3.04	2.99	3.01	3.30	-
COP inkl. HS	2.55	2.95	3.01	2.99	3.01	3.30	-
Effizienz Kessel	-	-	-	-	0.92	0.92	0.93
WP Deckungsanteil Nutzenergie	0.94	0.99	1.00	1.00	0.94	0.83	0.00
Deckungsanteil Zusatzheizer	6%	1%	0%	0%	6%	17%	-
Nutzwärme Heizung+TWW	-	-	-	-	-	-	-
Stromverbrauch Heizung gesamt	9129	7875	7709	7760	7777	5951	60
Brennstoffverbrauch Heizung gesamt	0	0	0	0	1463	4361	24800

Name	ME_a_vollsan	ME_b_vollsan	ME_c_vollsan	MV_vollsan	BV_a_vollsan	BV_b_vollsan	K_vollsan
Gebäudetyp	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH	EFH
Hydraulik	M1	M1	M1	M1	B4	B4	Kessel allein
Betriebsart (ME= monoenergetisch, MV= monovalent, BV=bivalent)	MV	MV	MV	MV	BV	BV	-
Zusatzherzeuger	HS	HS	HS	HS	Kessel	Kessel	-
Sanierungszustand	vollsan	vollsan	vollsan	vollsan	vollsan	vollsan	vollsan
Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) QH [kWh]	11632	11718	11662	11665	11842	11585	11847
Warmwasser-Verbrauch (Nutzwärme) QWW [kWh]	3016	3023	3028	3049	2856	2850	3082
Gesamt-Wärmeverbrauch Qges ohne Verluste [kWh]	14648	14741	14690	14714	14698	14435	14929
Wärmeerzeugung gesamt inkl. Verteil- und Speicherverluste [kWh]	17541	17909	17761	17863	18026	17680	17847
Wärmeerzeugung Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	54	93	17847
Heizölverbrauch Heizkessel [kWh]	0	0	0	0	60	103	20035
Wärmeerzeugung Heizstab [kWh]	0	0	0	0	0	0	0
Stromverbrauch Heizstab [kWh]	0	0	0	0	0	0	0
Wärmeerzeugung Wärmepumpe [kWh]	17541	17909	17761	17863	17972	17587	0
Stromverbrauch Wärmepumpe (inkl. WP-Hilfsstrom) [kWh]	5921	5890	5805	5984	5981	5316	0
Sonstiger Hilfsstromverbrauch (außerhalb WP) [kWh]	94	26	69	31	299	109	49
Gesamt-Strombezug aus dem Stromnetz [kWh]	9515	9416	9374	9515	9780	8925	3549
Haushaltsstromverbrauch [kWh]	3500	3500	3500	3500	3500	3500	3500
Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Hülle + Lüftung) [W/m²]	55	55	55	55	55	55	55
Nennleistung der Wärmepumpe (bei A-7/W55) [kW]	8.9	10.7	13.4	17.8	8.9	7.1	-
Installierte Heizkörperleistung (bei 70/60) [kW]	18	18	18	18	18	18	18
COP ohne HS	2.96	3.04	3.06	2.99	3.00	3.31	
COP inkl. HS	2.96	3.04	3.06	2.99	3.00	3.31	
Effizienz Kessel					0.90	0.90	0.89
WP Deckungsanteil Nutzenergie	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.00
Deckungsanteil Zusatzheizer	0%	0%	0%	0%	0%	1%	
Nutzwärme Heizung+TWW							
Stromverbrauch Heizung gesamt	6015	5916	5874	6015	6280	5425	49
Brennstoffverbrauch Heizung gesamt	0	0	0	0	60	103	20035

Mehrfamilienhaus (MFH)

Name	ME_unsan	MV_unsan	BV_unsan	K_unsan	ME_TS2	MV_TS2	BV_TS2
Gebäudetyp	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH
Hydraulik	MZ1	MZ1	BZ1	Kessel allein	MZ1	MZ1	BZ1
Betriebsart (ME= monoenergetisch, MV= monovalent, BV=bivalent)	ME	MV	BV	-	ME	MV	BV
Zusatzzeuger	HS	-	Kessel	-	HS	-	Kessel
Sanierungszustand	unsaniert	unsaniert	unsaniert	unsaniert	TS2	TS2	TS2
Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) QH [kWh]	72700	72600	73100	73300	54000	53700	54100
Warmwasser-Verbrauch (Nutzwärme) QWW [kWh]	14169	14242	14751	14342	14155	14244	14231
Gesamt-Wärmeverbrauch Qges ohne Verluste [kWh]	86869	86842	87851	87642	68155	67944	68331
Wärmeerzeugung gesamt inkl. Verteil- und Speicherverluste [kWh]	102843	103000	105888	105000	83451	83900	84456
Wärmeerzeugung Heizkessel [kWh]	0	0	27188	105000	0	0	15302
Heizölverbrauch Heizkessel [kWh]	0	0	28619	109375	0	0	15614
Wärmeerzeugung Heizstab [kWh]	5443	0	0	0	751	0	0
Stromverbrauch Heizstab [kWh]	5813	0	0	0	868	0	0
Wärmeerzeugung Wärmepumpe [kWh]	97400	103000	78700	0	82700	83900	69154
Stromverbrauch Wärmepumpe (inkl. WP-Hilfsstrom) [kWh]	31257	34214	24735	0	26379	27109	21759
Sonstiger Hilfsstromverbrauch (außerhalb WP) [kWh]	60	59	118	38	51	48	113
Gesamt-Strombezug aus dem Stromnetz [kWh]	37130	34273	24853	38	27298	27157	21872
Rechnerischer Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Hülle + Lüftung) [W/m²]	80	80	80	80	62	62	62
Nennleistung der Wärmepumpe (bei A-7/W55) [kW]	26.4	52.7	17.6	-	26.4	52.7	17.6
Installierte Heizkörperleistung (bei 70/60) [kW]	63	63	63	63	63	63	63
COP ohne HS	3.12	3.01	3.18	-	3.14	3.09	3.18
COP inkl. HS	2.77	-	-	-	3.06	-	3.18
Effizienz Kessel	-	-	0.95	0.96	-	-	0.98
WP Deckungsanteil Nutzenergie	0.95	1.00	0.74	-	0.99	1.00	0.82
Deckungsanteil Zusatzheizer	5%	0%	26%	-	1%	0%	18%
Stromverbrauch Heizung gesamt	37130	34273	24853	38	27298	27157	21872
Brennstoffverbrauch Heizung gesamt	0	0	28619	109375	0	0	15614

Name	K_TS2	ME_vollsan	MV_vollsan	BV_vollsan	K_vollsan
Gebäudetyp	MFH	MFH	MFH	MFH	MFH
Hydraulik	Kessel allein	MZ1	MZ1	BZ1	Kessel allein
Betriebsart (ME= monoenergetisch, MV= monovalent, BV=bivalent)	-	ME	MV	BV	-
Zusatzzeuger	-	HS	-	Kessel	-
Sanierungszustand	TS2	vollsanisiert	vollsanisiert	vollsanisiert	vollsanisiert
Heizwärmeverbrauch (Nutzwärme) QH [kWh]	54200	34142	34326	34249	34582
Warmwasser-Verbrauch (Nutzwärme) QWW [kWh]	13967	14151	14234	14045	13867
Gesamt-Wärmeverbrauch Qges ohne Verluste [kWh]	68167	48293	48560	48294	48449
Wärmeerzeugung gesamt inkl. Verteil- und Speicherverluste [kWh]	85800	64515	65784	65730	65700
Wärmeerzeugung Heizkessel [kWh]	85800	0	0	3182	65700
Heizölverbrauch Heizkessel [kWh]	87500	0	0	3246	67400
Wärmeerzeugung Heizstab [kWh]	0	0	0	0	0
Stromverbrauch Heizstab [kWh]	0	0	0	0	0
Wärmeerzeugung Wärmepumpe [kWh]	0	64515	65784	62548	0
Stromverbrauch Wärmepumpe (inkl. WP-Hilfsstrom) [kWh]	0	21132	22126	19909	0
Sonstiger Hilfsstromverbrauch (außerhalb WP) [kWh]	32	38	37	110	31
Gesamt-Strombezug aus dem Stromnetz [kWh]	32	21170	22163	20019	31
Rechnerischer Wärmeleistungsbedarf des Gebäudes (Hülle + Lüftung) [W/m²]	62	41	41	41	41
Nennleistung der Wärmepumpe (bei A-7/W55) [kW]	-	26.4	52.7	17.6	-
Installierte Heizkörperleistung (bei 70/60) [kW]	63	63	63	63	63
COP ohne HS	-	3.05	2.97	3.14	-
COP inkl. HS	-	-	2.97	3.14	-
Effizienz Kessel	0.98	-	-	0.98	0.97
WP Deckungsanteil Nutzenergie	-	1.00	1.00	0.95	-
Deckungsanteil Zusatzheizer	-	0%	0%	5%	-
Stromverbrauch Heizung gesamt	32	21170	22163	20019	31
Brennstoffverbrauch Heizung gesamt	87500	0	0	3246	67400

Anhang D Einfluss der verbesserten Wärmepumpeneffizienz bei sinkenden Vorlauftemperaturen auf die Wirkung von Wärmeschutzmaßnahmen

Bei Beheizung mit einer Wärmepumpe ergibt sich im Fall der Durchführung von Wärmeschutzmaßnahmen ein erhöhter Einspareffekt:

- Zum Ersten reduziert sich (genau wie bei Verwendung anderer Wärmeerzeuger) der Wärmebedarf des Gebäudes und damit proportional der elektrische Energiebedarf.
- Zum Zweiten vermindert sich auch die Heizleistung des Gebäudes, so dass die Auslegungs-Vorlauftemperatur T_V entsprechend abgesenkt werden kann. Gemäß Gleichung (1) in Kapitel 5.2 sinkt damit auch die Aufwandszahl der Wärmepumpe, so dass eine zusätzliche Einsparung an elektrischer Energie erreicht wird⁴⁰.

Die folgenden, an die Untersuchungen zur Wärmepumpeneffizienz in Kap. 5 anknüpfenden Analysen dienen einer groben Abschätzung dieser zusätzlichen Energieeinsparung für den Fall monovalenter Luft-Wasser-Wärmepumpen. Dabei wird zunächst die Abhängigkeit der Gebäude-Heizleistung von T_V betrachtet. Für die Heizleistung gilt⁴¹:

$$P_{th} = C_{HK} \times (T_{m,HK} - T_L)$$

Darin sind:

C_{HK} : eine Konstante für den Heizkreis des betrachteten Gebäudes, die insbesondere von der installierten Heizkörperfläche abhängig ist

$T_L = 20\text{ °C}$: Die für den Auslegungsfall angenommene Temperatur in den Wohnräumen

$T_{m,HK}$: die für die Wärmeabgabe an die Räume maßgebliche mittlere Temperatur der Heizkörper

Hier wird vereinfachend angenommen, dass diese mittlere Heizkörpertemperatur im Auslegungsfall (d. h. an den kältesten Tagen) um 5 K unter der Vorlauftemperatur T_V liegt, und zwar unabhängig von der Höhe der Vorlauftemperatur⁴²:

$$T_{m,HK} = T_V - 5K$$

Damit erhält man:

$$P_{th} = C_{HK} \times (T_V - 5K - T_L) = C_{HK} \times (T_V - dT_P)$$

mit dem folgenden konstanten Subtrahenden (negativen Summanden): $dT_P = T_L + 5\text{ K} = 25\text{ K}$

⁴⁰ Diese Betrachtung, aus der sich eine zusätzliche Energie- und Energiekosteneinsparung ergibt, gilt für den Fall einer konstanten Heizkörperfläche und unter der Annahme, dass die Wärmepumpe auch ohne zusätzliche Wärmedämmung einsetzbar ist. In Fällen, in denen die Dämmung notwendig ist, um mit den vorhandenen Heizflächen überhaupt ausreichend niedrige Vorlauftemperaturen zu erreichen und damit den Wärmepumpeneinsatz erst zu ermöglichen, tritt zwar keine Energiekosteneinsparung auf. Dafür werden aber Mehrkosten für die Ertüchtigung der Heizflächen eingespart, die ansonsten im Fall ohne Dämmung aufgetreten wären.

⁴¹ Gemeint ist hier die Leistung, die von den Heizkörpern an den kältesten Tagen des Jahres an die Wohnräume abgegeben werden muss.

⁴² Tatsächlich ist der Zusammenhang komplizierter, zumal die mittlere Temperatur auch von den Volumenströmen im Heizkreis abhängt (die nach der Durchführung von Dämmmaßnahmen gegebenenfalls angepasst werden). Da im vorliegenden Kapitel ohnehin nur grobe Anhaltswerte für die zusätzliche Energieeinsparung abgeleitet werden sollen, erscheint die Vereinfachung aber gerechtfertigt.

Im Zustand vor Durchführung der Wärmedämmung gilt für die Heizleistung $P_{th,1}$ und die Vorlauftemperatur $T_{V,1}$ des Gebäudes⁴³:

$$P_{th,1} = C_{HK} \times (T_{V,1} - dT_P)$$

Damit lässt sich C_{HK} wie folgt ermitteln

$$C_{HK} = P_{th,1} / (T_{V,1} - dT_P) \quad (\text{Gl. 2})$$

Differenzen in der Auslegungs-Vorlauftemperatur ΔT_V führen zu der folgenden Änderung der Gebäude-Heizlast ΔP_{th} :

$$\Delta P_{th} = C_{HK} \times \Delta T_V \quad (\text{Gl. 3})$$

Durch die zusätzliche Wärmedämmung ändert sich der Wärmedurchgangskoeffizient U des betroffenen Bauteils um den Betrag ΔU , und es ergibt sich damit eine Änderung der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle und damit auch der Heizlast:

$$\Delta P_{th} = A_{BT} \times (T_L - T_a) \times r \times \Delta U = A_{BT} \times \Delta T_{Ausleg} \times r \times \Delta U \quad (\text{Gl. 4})$$

Mit:

A_{BT} : Bauteilfläche

$T_L = 20^\circ\text{C}$: Temperatur der Raumluft innen

$T_a = -10^\circ\text{C}$: Temperatur der Außenluft an den kältesten Tagen („Auslegungsfall“)

$\Delta T_{Ausleg} = (T_L - T_a) = 30\text{ K}$: Temperaturdifferenz innen-außen im Auslegungsfall

r : Abminderungsfaktor (dimensionsloser Wert ≤ 1): Zumeist gilt $r = 1$: Für Bauteile, die nicht direkt an die Außenluft grenzen (z. B. Kellerdecken, Wände an Erdreich) wird dagegen ein Wert < 1 angesetzt.

Durch Gleichsetzen von (Gl. 3) und (Gl. 4) und weitere Umformung erhält man ΔT_V in Abhängigkeit von ΔU :

$$\Delta P_{th} = C_{HK} \times \Delta T_V = A_{BT} \times \Delta T_{Ausleg} \times r \times \Delta U$$

$$\Delta T_V = A_{BT} \times \Delta T_{Ausleg} \times r \times \Delta U / C_{HK}$$

Darin lässt sich die Größe C_{HK} gemäß (Gl. 2) ersetzen:

$$\Delta T_V = A_{BT} \times \Delta T_{Ausleg} \times (T_{V,1} - dT_P) \times r \times \Delta U / P_{th,0} \quad (\text{Gl. 6})$$

Die Auswirkungen von ΔU auf die Änderung der Wärmepumpen-Aufwandszahl Δe ergibt sich nun durch Einsetzen von (Gl. 6) in (Gl. 1b)⁴⁴:

$$\Delta e = d_0/g \times \Delta T_V = d_0 \times A_{BT} \times \Delta T_{Ausleg} \times (T_{V,1} - dT_P) \times r \times \Delta U / (P_{th,1} \times g) \quad (\text{Gl. 7})$$

Für die weitere Umformung werden die folgenden Kenngrößen definiert:

$$k_e = d_0 \times \Delta T_{Ausleg} = 0,0015\text{ K}^{-1} \times 30\text{ K} = 0,045 \text{ (eine dimensionslose Modellkonstante)}$$

$$p_{th,1} = P_{th,1}/A_W : \text{wohnflächenbezogene Heizleistung des Gebäudes vor der Dämmung}$$

⁴³ Der Index „1“ bezeichnet hier also den Zustand vor der Wärmeschutz-Modernisierungsmaßnahme.

⁴⁴ Dabei gilt $\Delta e = \Delta e_H$, da hier nur die Heizwärmeerzeugung der Wärmepumpe (ohne Warmwasseranteil) betrachtet wird.

A_W : Wohnfläche des Gebäudes

$a_{BT} = A_{BT} / A_W$: bei der Modernisierung gedämmte Bauteilfläche bezogen auf die Wohnfläche

Mit diesen neuen Kennwerten ergibt sich aus (Gl. 7):

$$\Delta e = k_E \times (T_{V,1} - dT_P) \times a_{BT} \times A_W \times r \times \Delta U / (p_{th,1} \times A_W \times g)$$

Nach Kürzen von A_W erhält man das Ergebnis:

$$\Delta e = k_E \times (T_{V,1} - dT_P) \times a_{BT} \times r \times \Delta U / (p_{th,1} \times g) \quad (\text{Gl. 8})$$

Damit ist Δe abhängig von ΔU bekannt und es lassen sich die Auswirkungen auf den elektrischen Energieverbrauch betrachten.

Es sei nun Δq_E die auf die Wohnfläche bezogene jährliche Änderung des Verbrauchs von Endenergie (d. h. elektrischem Strom), die durch die Wärmedämmmaßnahme bewirkt wird. Diese ergibt sich aus den jährlichen Heizwärmebedarf des Gebäudes vor und nach der Maßnahme und den zugehörigen Wärmepumpen-Aufwandszahlen:

$$\Delta q_E = q_{H,2} \times e_2 - q_{H,1} \times e_1$$

mit:

q_H : vom Heizsystem gedeckter Heizwärmebedarf des Gebäudes bezogen auf die Wohnfläche in kWh/m²a
Indizes 1,2: Zustand vor (Index „1“) bzw. nach (Index „2“) der Durchführung der Wärmeschutzmaßnahme⁴⁵

Im Fall von Energieeinsparungen ist der Wert von Δq_E negativ. Die Gleichung kann wie folgt umgeformt werden.

$$\Delta q_{H,E} = q_{H,2} \times (e_2 - e_1 + e_1) - q_{H,1} \times e_1 = (q_{H,2} - q_{H,1}) \times e_1 + q_{H,2} (e_2 - e_1)$$

Unter Verwendung von:

$\Delta q_H = q_{H,2} - q_{H,1}$: Veränderung der Gebäude-Heizwärmebedarfs (bei Dämmung: negativ)

$\Delta e = e_2 - e_1$: Änderung der Wärmepumpen-Aufwandszahl (für Heizung)

ergibt sich:

$$\Delta q_E = \Delta q_H \times e_1 + q_{H,2} \times \Delta e = \Delta q_{E,0} + \Delta q_{E,zus} \quad (\text{Gl. 9})$$

mit:

$\Delta q_{E,0} = \Delta q_H \times e_1$ (Gl. 9a): Endenergieeinsparung (negativer Wert), die sich ohne Veränderung der Aufwandszahl ergäbe

$\Delta q_{E,zus} = q_{H,2} \times \Delta e$ (Gl. 9b): zusätzliche Änderung des Endenergieverbrauchs aufgrund der Veränderung der Aufwandszahl

Wenn durch die Wärmeschutzmaßnahmen der Heizwärmebedarf sehr stark abgesenkt werden kann ($q_{H,2} \downarrow 0$) verschwindet der zusätzliche Term $\Delta q_{E,zus}$. Dies erscheint plausibel: Der Vorteil der erhöhten

⁴⁵ Der Index 0 in der Bezeichnung e_0 in Kapitel 5.2 war dagegen in anderer Weise verwendet worden und bezog sich dort auf den speziellen Fall einer Wärmepumpe mit dem Gütegrad $g_0 = 0,375$.

Wärmepumpeneffizienz kommt bei starker Reduzierung des verbleibenden Energieverbrauchs immer weniger zum Tragen.

Die Änderung des wohnflächenbezogenen Wärmebedarfs aufgrund der Bauteildämmung ergibt sich wie folgt aus dem veränderten Transmissionswärmeverlust durch die neu gedämmte Bauteilfläche:

$$\Delta q_H = G_T \times A_{BT} \times r \times \Delta U / A_W = G_T \times a_{BT} \times r \times \Delta U \quad (\text{Gl. 10})$$

mit:

G_T : Gradtagzahl⁴⁶ in kWh/a (Kilo-Kelvin-Stunden pro Jahr)

$\Delta U = U_2 - U_1$: Änderung der U-Werts (bei Dämmung: negativ)

Setzt man für Δq_H und Δe die Ergebnisse aus (Gl. 8) und (Gl. 10) in (Gl. 9) ein, so erhält man:

$$\begin{aligned} \Delta q_E &= G_T \times a_{BT} \times r \times \Delta U \times e_1 + q_{H,2} \times k_E \times (T_{V,1} - dT_P) \times a_{BT} \times r \times \Delta U / (p_{th,1} \times g) \\ &= G_T \times a_{BT} \times r \times \Delta U \times e_1 \times (1 + q_{H,2} \times k_E \times (T_{V,1} - dT_P) / (p_{th,1} \times g \times G_T \times e_1)) \end{aligned}$$

Daraus folgt:

$$\Delta q_E = \Delta q_{E,0} \times (1 + f_{WP}) \quad (\text{Gl. 11})$$

mit:

$\Delta q_{E,0} = G_T \times a_{BT} \times r \times \Delta U \times e_1 = \Delta q_H \times e_1$ (Gl. 12): Endenergieeinsparung, die sich ohne Veränderung der Aufwandszahl ergäbe

f_{WP} : Zusätzlicher Anteil der Endenergieeinsparung wegen Verbesserung der Wärmepumpen-Aufwandszahl

$$f_{WP} = \Delta q_{E,zus} / \Delta q_{E,0} = q_{H,2} \times k_E \times (T_{V,1} - dT_P) / (p_{th,1} \times g \times G_T \times e_1)$$

Die in Gleichung 11 eingeführte anteilige „Wärmepumpen- Zusatzeinsparung“ f_{WP} gibt an, um welchen Anteil die Endenergieeinsparung der jeweiligen Wärmedämmmaßnahme ansteigt, wenn man nicht nur den „eigentlichen“ Beitrag der Reduzierung des Transmissionswärmeverlustes, sondern zusätzlich auch den Effekt der verbesserten Wärmepumpeneffizienz (bei reduzierter Vorlauftemperatur) berücksichtigt. Die weiteren Auswertungen werden allerdings zeigen, dass f_{WP} keine Konstante ist, sondern selbst wiederum von Δq_H und $\Delta q_{E,0}$ abhängt (und dabei insbesondere, wie oben erläutert, bei zunehmender Reduzierung des Wärmebedarfs kleiner wird).

Der Term f_{WP} lässt sich auch als Produkt der folgenden Faktoren f_1 und f_2 schreiben:

$$f_{WP} = f_1 \times f_2 \quad (\text{Gl. 12})$$

mit:

$$f_1 = q_{H,2} / p_{th,1} \quad (\text{Gl. 13})$$

$$f_2 = k_E \times (T_{V,1} - dT_P) / (G_T \times g \times e_1) \quad (\text{Gl. 14})$$

Im Faktor f_2 in Gl. 14 tritt im Nenner das Produkt $g \times e_1$ auf (Gütegrad der Wärmepumpe multipliziert mit der Aufwandszahl vor Durchführung der Wärmeschutzmaßnahme). Die Aufwandszahl der Wärmepumpe ist aber umgekehrt proportional zum Gütegrad: COP bzw. JAZ $\sim g \Rightarrow e = 1/JAZ \sim 1/g$.

⁴⁶ Vereinfacht wird hier wie in üblichen statischen Bilanzverfahren von einer konstanten Gradtagzahl ausgegangen. Der Effekt, dass bei reduziertem Wärmebedarf die mittleren Raumtemperaturen ansteigen (teils „physikalisch“ bedingt durch geringere Nachtabenkung, teils gegebenenfalls auch nutzerbedingt) wird hier vernachlässigt. In den Modellrechnungen des IWU mit dem Simulationsprogramm [EEGZ] wird er dagegen berücksichtigt.

Das Produkt $g \times e_1$ ist also im Gütegradmodell unabhängig von g . Nach (Gl. 1a) in Kap. 5.2 gilt:

$$\begin{aligned} e_{H,1} &= e_{H,0} \times g_0 / g = (m_{TV,0} \times T_{V,1} + c_{TV,0}) \times g_0 / g \\ \Rightarrow e_{H,1} \times g &= e_{H,0} \times g_0 = (m_{TV,0} \times T_{V,1} + c_{TV,0}) \times g_0 \\ \text{mit den folgenden Konstanten aus Kap. 5.2:} \\ m_{TV,0} &= 0,004 \text{ K}^{-1} \\ c_{T,0} &= 0,085 \\ g_0 &= 0,375 \end{aligned}$$

Der Faktor f_2 ist damit im gewählten Modellansatz unabhängig vom Gütegrad der Wärmepumpe:

$$f_2 = k_E \times (T_{V,1} - dT_P) / (G_T \times g \times e_1) = k_E \times (T_{V,1} - dT_P) / (G_T \times g_0 \times ((m_{TV,0} \times T_{V,1} + c_{TV,0}))) \quad (\text{Gl. 14a})$$

Bei Faktor f_1 besteht insbesondere eine Abhängigkeit zwischen den beiden die Einflussgrößen $q_{H,2}$ und $p_{th,1}$ die hier noch näher betrachtet werden soll.

Der wohnflächenbezogene Heizwärmeverbrauch q_H des Gebäudes lässt sich in einem einfachen Bilanzmodell nach folgender Gleichung bestimmen:

$$q_H = q_T + q_V - q_G = (h_T + h_V) \times G_T - q_G \quad (\text{Gl. 15})$$

mit:

q_T, q_V : Transmissionswärmeverluste bzw. Lüftungsverluste⁴⁷ in kWh/m²a

q_G : Nutzbare Wärmegewinne (interne Gewinne durch Wärmeabgabe von Personen und Geräten sowie passive solare Wärmegewinne)

h_T, h_V : spezifische, auf die Wohnfläche bezogene Transmissions- bzw. Lüftungswärmeverluste⁴⁸ in W/m²K

Für die spezifischen Transmissionswärmeverluste $h_{T,1}$ bzw. $h_{T,2}$ (vor bzw. nach Durchführung der Dämmung des betrachteten Bauteils) besteht der folgende Zusammenhang:

$$h_{T,2} = h_{T,1} + \Delta h_T = h_{T,1} \times (1 - c)$$

mit:

$\Delta h_T = - c_{Dämm} \times h_{T,1}$: Änderung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts aufgrund der Dämmmaßnahme

$c_{Dämm}$: Wert zwischen 0 und 1: Maß für die erreichte Wirkung der Wärmeschutzmaßnahme gemessen am ursprünglichen Transmissionswärmeverlust. Beispiel $c_{Dämm} = 0,6$: Der ursprüngliche Transmissionwärmeverlust wird um 60 % reduziert

Mit (Gl. 15) folgt:

$$q_{H,2} = (h_{T,2} + h_V) \times G_T - q_G = (h_{T,1} \times (1 - c_{Dämm}) + h_V) \times G_T - q_G = (h_{T,1} + h_V) \times G_T - c_{Dämm} \times h_{T,1} \times G_T$$

$$q_{H,2} = q_{H,1} - c_{Dämm} \times h_{T,1} \times G_T \quad (\text{Gl. 16})$$

Der wohnflächenbezogene Heizleistungsbedarf des Gebäudes (Wärmeabgabe durch die Heizkörper an den kältesten Tagen) lässt sich wie folgt abschätzen:

$$p_{th} = (h_T + h_V) \times \Delta T_{Ausleg} \quad (\text{Gl. 17})$$

Daraus folgt durch Umformung und Einsetzen in (Gl. 15)

$$h_T + h_V = p_{th} / \Delta T_{Ausleg}$$

$$q_H = p_{th} \times G_T / \Delta T_{Ausleg} - q_G$$

⁴⁷ Der Index „V“ steht dabei für „Ventilation“, bezeichnet also die Lüftung.

⁴⁸ Die Größe h_T entspricht dem aus der Energieeinsparverordnung und dem Gebäude-Energie-Gesetz bekannten spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T' , allerdings mit dem Unterschied, dass h_T auf die Wohnfläche und H_T' auf die Hüllfläche des Gebäudes bezogen ist.

Damit lässt sich $q_{H,1}$ in (Gl. 16) wie folgt ersetzen:

$$q_{H,2} = p_{th,1} \times G_T / \Delta T_{Ausleg} - q_G - c_{Dämm} \times h_{T,1} \times G_T \quad (\text{Gl. 16})$$

Für f_2 aus (Gl. 13) folgt mit (Gl. 16):

$$f_1 = q_{H,2} / p_{th,1} = s_1 + s_2 + s_3 \quad (\text{Gl. 17})$$

mit den drei Summanden s_1 bis s_3 :

$$s_1 = G_T / \Delta T_{Ausleg}$$

$$s_2 = -q_G / p_{th,1}$$

$$s_3 = -c_{Dämm} \times h_{T,1} \times G_T / p_{th,1}$$

s_3 lässt sich mit (Gl. 17) noch weiter umformen:

$$s_3 = -c_{Dämm} \times h_{T,1} \times G_T / ((h_{t,1} + h_v) \times \Delta T_{Ausleg}) = -c_{Dämm} \times G_T / \Delta T_{Ausleg} \times (1 - h_v / (h_{t,1} + h_v))$$

$$s_3 = -c_{Dämm} \times G_T / \Delta T_{Ausleg} \times (1 - h_v \times \Delta T_{Ausleg} / p_{th,1})$$

Der Wert der Größen s_1 bis s_3 , f_1 , f_2 und somit letztlich von f_{WP} soll nun für typische Anwendungsfälle überschlägig bestimmt werden.

Laut vorherigen Abschätzungen gilt $k_e = 0,045$. Die Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizkreises vor Dämmung wird vor diesem Hintergrund zu $T_{V,1} = 55$ °C angenommen. Mit $dT_P = 25$ K (s.o.) erhält man für den Klammerterm: $(T_{V,1} - dT_P) = 30$ K. Als Gradtagzahl werden 72 kWh/a (umgerechnet: 3000 Kd/a) angenommen. Für die wohnflächenbezogene Heizleistung $p_{th,1}$ vor der Dämmung werden hier die Werte 70 W/m² für ein teilmodernisiertes bzw. 90 W/m² für ein unmodernisiertes Gebäude angesetzt⁴⁹. Als Anhaltswert für die nutzbaren internen und solaren Gewinne wird $q_G = 30$ kWh/m²a, für den spezifischen Lüftungswärmeverlust $h_v = 0,37$ W/m²K angesetzt⁵⁰.

In einem ersten Schritt lässt sich der Faktor f_2 aus (Gl. 14) bestimmen⁵¹:

$$f_2 = k_e \times (T_{V,1} - dT_P) / (G_T \times g_0 \times ((m_{TV,0} \times T_{V,1} + c_{TV,0}))$$

$$= 0,045 \times 30 \text{ K} / (72 \text{ kWh/a} \times 0,375 \times (0,004 \times 55 + 0,085)) = 0,164 \text{ a/kh}$$

Der erste Summand von f_1 lässt sich ebenfalls direkt ermitteln:

$$s_1 = G_T / \Delta T_{Ausleg} = 72 \text{ kWh/a} / 30 \text{ K} = 2,4 \text{ kh/a}$$

Der zweite Summand erfordert eine Fallunterscheidung:

$$\text{Für } p_{th,1} = 70 \text{ W/m}^2 \text{ erhält man } s_2 = -q_G / p_{th,1} = -30 \text{ kWh/m}^2\text{a} / (70 \text{ W/m}^2) = -0,43 \text{ kh/a}$$

$$\text{Für } p_{th,1} = 90 \text{ W/m}^2 \text{ ergibt sich dementsprechend } s_2 = -30 / 90 \text{ kh/a} = -0,33 \text{ kh/a}$$

Der dritte Summand $s_3 = -c_{Dämm} \times G_T / \Delta T_{Ausleg} \times (1 - h_v \times \Delta T_{Ausleg} / p_{th,1})$ hängt von dem Anteil $c_{Dämm}$ ab, um den der ursprüngliche Transmissionswärmeverlust durch die Dämmung reduziert wird. In der Untersuchung wird er schrittweise zwischen 0,01 (1 %: theoretischer Grenzfall minimaler Dämmung) und 0,9 (90 %: qualitativ hochwertige Komplettmodernisierung) variiert. Der Summand s_3 nimmt dabei Werte zwischen 0 und ca. -1,8 kh/a an.

⁴⁹ Zur Erinnerung: Es geht hier nicht um die Leistung des Wärmeerzeugers, sondern die Wärmeabgabeleistung der Heizflächen an die Wohnräume.

⁵⁰ Modellwerte in dieser Größenordnung wurden auch in den in Heizperioden-Bilanzverfahren genutzt, die in [Diefenbach, Cischinsky 2024] und [Diefenbach et al. 2025] zur Anwendung gekommen sind. Bei den Gewinnen entfällt dabei je etwa die Hälfte auf interne und solare Wärmegevinne.

⁵¹ Der Faktor trägt die Einheit a/kh, also „Jahre pro Kilostunden“, ist also im Prinzip dimensionslos:

$f_2 = 0,126 \text{ a/kh} = 0,126 \times 8760 \text{ h} / 1000 \text{ h} = 1,104$. Für die weiteren Berechnungen werden aber die Einheiten a/kh beibehalten: f_1 wird dementsprechend in kh/a angegeben. Bei der Berechnung von $f_{WP} = f_1 \times f_2$ ergibt sich dann endgültig eine dimensionslose Zahl

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 29 dargestellt. Für die verschiedenen Untersuchungsvarianten ist jeweils das Endresultat für f_{WP} angegeben: $f_{WP} = f_1 \times f_2 = (s_1 + s_2 + s_3) \times f_2$

Tabelle 29: Modellergebnisse für die anteilige „Wärmepumpen-Zusatzeinsparung“ f_{WP} bezogen auf die Einsparung ohne Effizienzverbesserung der Wärmepumpe für unterschiedlich weitgehende Wärmeschutzmaßnahmen in Altbauten (Berechnung unter den im Text genannten Rahmenbedingungen für monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpen)

$p_{th,1}$ W/m ²	$c_{Dämm}$	f_{WP}
90	0,01	34%
90	0,2	27%
90	0,4	20%
90	0,6	13%
90	0,8	6%
90	0,9	3%
70	0,01	32%
70	0,2	26%
70	0,4	19%
70	0,6	12%
70	0,8	6%
70	0,9	3%

Es zeigt sich der bereits im Text erläuterte Effekt, dass die zusätzliche prozentuale Einsparung f_{WP} aufgrund der verbesserten Wärmepumpeneffizienz bei sehr weitgehenden Wärmeschutzmaßnahmen (hier im eher theoretischen Fall $c_{Dämm} = 0,9$) nur noch klein ausfällt. Bei geringem Maßnahmenumfang (hier im ebenfalls nur theoretisch relevanten Extremfall $c_{Dämm} = 0,01$) sind dagegen zusätzliche Einsparungen von bis zu rund einem Drittel möglich (gemessen an $\Delta q_{E,0}$).

Für realistische Maßnahmen wäre eine Spanne von gut 5 % (bei sehr weitgehender Reduktion der Transmissionswärmeverluste um 80 %) bis etwas über 25 % (bei weniger weitgehenden Maßnahmen) zu erwarten. Allerdings ist die Frage, ob die Annahme einer sehr präzisen Nachjustierung der Heizkurve im Fall von Einzelmaßnahmen überhaupt praxisgerecht ist. Im Sinne eines konservativen Ansatzes erscheint vor diesem Hintergrund für pauschale Abschätzungen die Faustregel $f_{WP} \approx 10$ % als angemessen.

Dies erscheint auch vor dem Hintergrund sinnvoll, dass eine – allerdings unter ebenfalls groben Annahmen durchgeführte – Überprüfung der theoretischen Berechnung in einer Simulationsanalyse zwar eine ähnliche Tendenz, aber deutlich niedrigere Einsparungen ergab. Dabei wurde das Beispiel-Einfamilienhaus aus dem vorliegenden Projekt mit dem Programm Polysun untersucht. Ausgehend vom unsanierten Gebäude wurde nach Dämmmaßnahmen die Vorlauftemperatur im einen Fall konstant gehalten und im anderen Fall soweit abgesenkt, bis eine im Programm integrierte Warnmeldung eine Unterschreitung der Innenraumtemperaturen anzeigte. Ein geringer Dämmumfang $c_{Dämm} = 0,19$ resultierte dabei für den zweiten gegenüber dem ersten Fall lediglich in einer Zusatzeinsparung von $f_{WP} = 11,5$ %. Weiterhin wurden $f_{WP} = 9,2$ % (bei $c_{Dämm} = 0,45$) und $f_{WP} = 3,5$ % (bei $c_{Dämm} = 0,70$) erreicht.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass der hier beschriebene Modellansatz auch insofern eine Vereinfachung darstellt, als er das Gebäude und seinen Heizleistungsbedarf als Ganzes betrachtet. Tatsächlich können die Leistungsreserven der Heizkörper raumweise unterschiedlich sein: Wenn die Dämmmaßnahmen in so einem Fall denjenigen Raum betreffen, dessen Anforderung an die Vorlauftemperatur bisher bestimmend für das gesamte Gebäude war, so kann der Effekt für die mögliche Reduzierung der Vorlauftemperatur besonders groß sein. Ist dieser Raum dagegen von der Dämmung gar nicht beeinflusst, so ergibt sich auch keine Möglichkeit der Temperaturabsenkung.

Falls die Reduzierung der Vorlauftemperatur dagegen tatsächlich möglich ist, kann als weiterer, hier noch nicht berücksichtigter Vorteil (und zwar nicht nur bei Wärmepumpensystemen) auch noch eine Verringerung der Wärmeverteilungsverluste insbesondere in unbeheizten Gebäudeteilen erreicht werden. Bei monoenergetischen (statt den hier betrachteten monovalenten) Wärmepumpen kann ein weiterer Vorteil dadurch entstehen, dass durch die Reduzierung des Heizwärmebedarfs auch der Deckungsanteil des elektrischen Heizstabs absinkt, so dass sich die Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems aus Wärmepumpe und Heizstab entsprechend weiter erhöht (vgl. Analysen in [Holm et al. 2023]).

Anhang E Zusammenfassung der Einflussfaktoren für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb im Bestand

Der größte Einflussfaktor auf die Effizienz einer Wärmepumpe ist die Spreizung der Temperatur zwischen Quelle und Senke also zwischen Außenluft-, Erdreich- oder Grundwassertemperatur und der benötigten Vorlauftemperatur im Gebäude. Die Quelltemperatur kann nur bei Erdreichwärmepumpen, durch längere Leitungen beeinflusst werden und sollte in der Planung berücksichtigt werden, bei Luft-Wasser-Wärmepumpen ist diese nicht möglich. Daher ist es wichtig, dass die von der Wärmepumpe erzeugte Temperatur direkt im Heizsystem genutzt werden kann, z. B. in einem Heizkreis oder einem direkt beladenen Trinkwasserspeicher. Alles was dazu führt, dass die Temperatur nicht direkt auf diesem Niveau genutzt werden kann, verschlechtert den Wirkungsgrad der Wärmepumpe.

In diesem Bericht werden in der Feldphase, der theoretischen Betrachtung und der Simulation der Anlagen viele Details rund um die Wärmepumpeninstallation untersucht, um die größten Einflussfaktoren zu identifizieren. Fast alle Einflussfaktoren führen im Endeffekt zu einem besser abgestimmten Gesamtsystem und somit zu einer geringeren Spreizung von Quelle zu Senke.

In der Tabelle 30 sind verschiedene Einflussfaktoren aufgeführt, die alle direkt oder indirekt darauf abzielen die von der Wärmepumpe erzeugte Vorlauftemperatur für Heizung und Warmwasser zu reduzieren oder Betriebszeiten auf Zeiten mit günstigeren Quellentemperaturen zu verschieben und somit eine geringere Spreizung von Quelle zu Senke zu erzeugen. Werden Maßnahmen aus der Tabelle umgesetzt, die zu geringeren Vorlauftemperaturen führen können, sollte immer versucht werden die Heizkurve anzupassen um den Effekt zu maximieren.

Tabelle 30: Übersicht der Einflussfaktoren auf die Effizienz von Wärmepumpen

Einflussfaktor	Beschreibung	Kosten / Aufwand (-1/0/1)	Effekt (-1/0/1)	Effekt / Aufwand
Optimierung der Heizkurve	Anpassung / Reduzierung der Heizkurve an den Bedarf des Gebäudes	1	1	sehr gut
Heizkörper Ventilatoren	In kritischen Räumen können Heizkörperventilatoren eingesetzt werden, um die Heizkurve weiter abzusenken	1	1	sehr gut
Trinkwasserspeicher mit großem Wärmetauscher wählen	Große Wärmetauscher im Trinkwasserspeicher sorgen für eine gute Wärmeübertragung bei geringeren Vorlauftemperaturen (Aufwand bei einer Neuinstallation gering, ansonsten hoch)	1 (-1)	1	sehr gut (mittel)
Ladezeiten Trinkwasserspeicher tagesüber	Wenn der Trinkwasserspeicher ausreichende dimensioniert ist, sollten die Ladezeiten des Speichers in die Zeiten mit den höchsten Außentemperaturen gelegt werden. Aufladungen am frühen Morgen sollten vermieden werden	1	1	sehr gut
Laufzeiten der Warmwasserzirkulation auf die Nutzungszeiten reduzieren	So reduzieren sich die Verluste und es muss weniger Warmwasser auf einem hohen Temperaturniveau bereitgestellt werden	1	1	sehr gut
Wasserspararmaturen an allen Waschbecken und Duschen einsetzen	So muss weniger Warmwasser auf einem hohen Temperaturniveau bereitgestellt werden	1	1	sehr gut

Einflussfaktor	Beschreibung	Kosten / Aufwand (-1/0/1)	Effekt (-1/0/1)	Effekt / Aufwand
Hydraulischer Abgleich	Ohne den hydraulischen Abgleich kann die Heizkurve nicht optimal an das Gebäude angepasst werden (Aufwand bei der Neuinstallation gering, ansonsten ggf. mittel)	0	1	gut
Dämmung der Verteilungen, Armaturen u. Anschlüsse	Jedes Grad Wassertemperatur, das im Keller / Anschlussraum verloren geht, muss von der WP zusätzlich erzeugt werden	1	0	gut
Energieberatung	Die Energieberatung des Nutzers führt oft zu einem besser informierten Hausbesitzer/Nutzer, der auf einen optimierten Einbau und Betrieb mit niedriger VL achtet	1	0	gut
Heizkörpertausch	Beim Heizkörpertausch können die neuen Heizkörper für eine niedrige Heizkurve geplant werden	0	1	gut
Geräte mit hohem SCOP auswählen	Geräte mit einem hohen SCOP haben das Potential bei optimiertem Betrieb effizienter Wärme zu erzeugen	1	0	gut
Frischwasserstationen vermeiden	Frischwasserstation benötigen etwas höhere Temperaturen im Speicher als die benötigte Zapftemperatur und verursachen so eine etwas geringere Effizienz bei der WP; in Mehrfamilienhäusern kann sie aber eine gute Wahl sein	1	0	gut
Luftdichtigkeit des Gebäudes verbessern	Schwachstellen in Bestandsgebäuden sind häufig Rollladenkästen, Fensterdichtungen, Haustür und ggf. Kellertür sowie Dachbodenluken; durch eine geringere Luftwechselrate werden Lüftungswärmeverluste vermieden und die Heizkurven können abgesenkt werden	0	1	gut
Hydraulik optimieren (Speichereinbindung)	Wenn Speicher immer mit einer höheren Temperatur geladen werden, als im Heizkreis / für das Warmwasser benötigt wird, geht Effizienz an der WP verloren	0	0	mittel
Spreizung VL-RL optimieren	Ggf. kann durch eine optimierte Spreizung von VL zu RL bei gleicher VL Temperatur mehr Wärme am Heizkörper / Fußbodenkreis abgegeben werden. Zu hohe Spreizungen sind zu vermeiden	0	0	mittel
Dämmung des Gebäudes	Durch ein besser gedämmtes Gebäude kann bei gleicher Heizkörperfläche eine niedrigere Heizkurve eingestellt werden	-1	1	mittel
Einbau Flächenheizung	Mit Flächenheizungen werden die niedrigsten Heizkurven erreicht	-1	1	mittel
Kurze Leitungswege von Gerät zur Inneneinheit	Kurze Leitungswege vermeiden Energieverluste	0	0	mittel

Einflussfaktor	Beschreibung	Kosten / Aufwand (-1/0/1)	Effekt (-1/0/1)	Effekt / Aufwand
Pufferspeicher passend dimensionieren	Pufferspeicher nicht über- (höhere Verluste des Speichers) oder unterdimensionieren (geringere Effizienz der WP durch kurze Laufzeiten)	0	0	mittel
Trinkwasserspeicher passend dimensionieren	Warmwasserspeicher so dimensionieren, dass eine Aufladung pro Tag ausreicht	0	0	mittel

Anhang F Empfehlungen zur Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit und Betriebsoptimierung bei der Energieeffizienzanzeige

Im Rahmen der BEG-Förderung wird eine Energieeffizienzanzeige (EE-Anzeige) der Wärmepumpe gefordert. Dadurch soll der Nutzer bzw. Gebäudeeigentümer die Anlageneffizienz einfach beurteilen können. Dieses Instrument hat jedoch, wie auch Erfahrungen aus dem Feldtest zeigen, offenbar noch einige Schwachstellen. Insbesondere gibt es bisher nur wenige Vorgaben für die konkrete EE-Anzeige. Dadurch bleibt die Vergleichbarkeit der Anlagen schwierig.

Insbesondere bei den Vor-Ort-Terminen und der Rücksprache mit den Teilnehmern wurden hier die folgenden Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert:

1. Ein sehr relevanter Schwachpunkt ist nach den Erfahrungen im Projekt der nicht einheitlich vorgegebene Bilanzrahmen. Hier sollten einheitliche Bilanzgrenzen gelten, um Anlagen verschiedener Hersteller besser miteinander Verglichen zu können.
2. Die Jahresarbeitszahl sollte schnell im Menü erreichbar sein und direkt dem Nutzer angezeigt werden (keine eigene Berechnung erforderlich).
3. Bei angezeigten Jahresarbeitszahlen ist der Betrachtungszeitraum oft unklar (Wochen-, Monats-, Jahreswerte, gleitendes Mittel oder aus allen verfügbaren Daten berechnet). Ohne diese Information ist eine Beurteilung der Anlageneffizienz schwer. Wird die JAZ aus allen verfügbaren Daten gebildet, dann werden Probleme u. U. erst sehr spät erkannt, da sich Leistungsverluste erst nach mehreren Monaten in der Anzeige auswirken können.

Um diese Probleme zu beseitigen, werden konkret folgende Maßnahmen vorgeschlagen.

1. Der Bilanzrahmen für die JAZ sollte vorgegeben werden. Insbesondere der im Projekt verwendet Bilanzrahmen kann von der Steuerung der WP in der Regel komplett erfasst werden und wäre damit gut geeignet.
2. Die JAZ (Heizung / WW / Gesamt) sollten als Jahreswerte für das Kalenderjahr angezeigt werden und wenigstens die Werte der letzten 3 Jahre auslesbar sein. Die Anzeige von Monatswerten des laufenden Jahrs wäre optional wünschenswert.
3. Angezeigte Anlagenstromverbräuche sollten alle Verbräuche des Geräts berücksichtigen, auch Heizstäbe, Stand-by-Verbräuche aller Komponenten und Steuerungen. Auch optionale Komponenten (wie Frostschutzheizungen, Düsenringheizungen usw.) sollten miterfasst werden.
4. Die angezeigte Wärmemenge sollte auch die Abtauenergie der Außeneinheit berücksichtigen (je nach Anlage z. B. durch Abzug von der Nutzwärme).
5. Werden Strom- oder Wärmemengen nicht direkt gemessen, sondern durch andere Anlagenparameter abgeschätzt, sollten die verwendeten Werte der Offsets (z. B. für Stand-By-Verbräuche), Preset (Leistungen für Pumpen, Zusatzheizungen usw.) oder Funktionen (z. B. Stromverbrauch Ventilator oder Kompressor nach Leistungskennlinie) und die angesetzten Laufzeiten im Gerätedatenblatt aufgeführt werden; generell sollte im Handbuch kurz beschrieben sein, wie die Energiemengen bestimmt werden.
6. Energiedaten müssen so hinterlegt werden, dass sie nicht bei einem Software-Update verloren gehen.
7. Optimal wäre es, wenn die in der EE-Anzeige berücksichtigten Stromverbraucher aus Punkt 5. (die nicht gemessen werden) mit Werten in der Steuerung auslesbar wären. Dann ist eine einfache Kontrolle durch den Nutzer / Installateur möglich.

Mit modernen Displays und Apps können viele Informationen und Einstellungen einfach zugänglich gemacht werden. Leider sind noch bei einigen Anlagen die Steuerungen unnötig umständlich und auch Energiedaten und grundlegende Einstellungen nur schwer zu finden oder hinter Passwörtern verborgen.

Da die Optimierung der Einstellungen nach der Installation essenziell für einen effizienten Betrieb der Anlage ist, sollten diese Funktionen auch in den Apps und Steuerungen zugänglich sein. Könnten die Nutzer die Anlage mit Hilfe einer App selbst optimieren, hätte man gleichzeitig die Installateure entlastet und zufriedene Kunden.

Viele Punkte könnten die Nutzer wie gesagt zwar selbst optimieren, oft fehlt Ihnen jedoch das Wissen, was wie optimiert werden kann und teilweise auch, wo es einen Optimierungsbedarf gibt. Daher sollten Richtwerte mit Informationen hinterlegt werden. Z. B. kann bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Heizkörpern angezeigt werden, welcher JAZ-Bereich zu erwarten wäre (z. B. 2,8-3,2) und welche Optimierungen sinnvoll sein könnten, wenn diese Werte unterschritten werden. Bei der Ersteinrichtung könnten einmalig softwaregeführt alle Einstellungen durchgegangen und an das Gebäude und den Nutzer angepasst werden – immer mit den Hinweisen in welche Richtung ein geringer Verbrauch zu erwarten ist. In Zeiten der KI-Nutzung könnten ein paar Monate nach der Installation die Einstellungen und die Verbrauchsdaten von einer KI ausgewertet und Empfehlungen zu Optimierung generiert werden. Einzelne Hersteller bieten solche Optimierungen bereits für Fachhandwerker an. Jedoch auch ohne KI können Hinweise zur Reduzierung der Heizkurve, der Sommer Winter Umschaltung, den Absenkezeiten, den Zirkulationszeiten usw. hinterlegt werden.

Durch die gezielte Nutzung von Strom aus Photovoltaik-Anlagen und dynamische Stromtarife kann in Verbindung mit einer Wärmepumpe gleichzeitig Geld gespart und erneuerbare Energie besser in das Energiesystem integriert werden. Von den Teilnehmern der Feldphase besitzen 34 eine Photovoltaikanlage und 15 einen Batteriespeicher und die Eigentümer möchten mit dem eigenen Strom auch die Wärmepumpe betreiben. Jedoch wurden die wenigsten Anlagen über die SG-Ready- oder eine andere Schnittstelle gekoppelt. Hier fehlt es noch an einfachen, herstellerübergreifenden Lösungen, so dass alle Installateure – ob Heizungsbauer oder Solarteure – die entsprechenden Verbindungen einfach herstellen können.

Mit den Batteriespeichern könnte bei geeigneter Regelung zusätzliche Flexibilität in das Heizungssystem gebracht werden. Mit einem guten Haus-Energie-Manager könnten zukünftig wärmeseitigen Wärme- und Strombedarfe weiter flexibilisiert und mehr erneuerbare Energie im Gebäude eingesetzt werden. Wenn alle Anlagen von einem Hersteller stammen, ist teilweise bereits eine Kopplung möglich. Wichtig sind hier aber offene Schnittstellen, so dass möglichst unterschiedliche Geräte reibungslos zusammenarbeiten können.

Für eine weitere Optimierung der verschiedenen Anzeigen und Regelungen besteht also eine ganze Reihe von Anknüpfungspunkten. Die Übersetzung in praxisgerechte und marktfähige Lösungen wäre sicher an einigen Stellen mit einem gewissen Entwicklungsaufwand erfordern. Dieser könnte sich aber im Hinblick auf einen verbesserten Anlagenbetrieb und eine verbesserte Transparenz aus Sicht der Kunden voraussichtlich auszahlen.

Anhang G Fragen Eigentümerbefragungen

G.1 Erste Eigentümerbefragung

Die erste Befragung wurde als Leitfadeninterview vor Ort geführt

Block 1: Fragen zum Anlagenbetrieb: Gab es nach der Umstellung auf die WP Verhaltensänderungen bei Heizen.

Keine Nachtabenkung mehr an der Heizung?

Geänderte Warmwassertemperatur (gefühl)?

Änderungen beim Lüftungsverhalten?

Änderungen bei der Raumnutzung?

Anmerkungen

Block 2: Fragen zur Planung / Auslegung:

Wurde eine Energieberatung durchgeführt?

Bafa Vor Ort Beratung?

ISFP individueller Sanierungsfahrplan?

Wenn ja können wir eine Kopie bekommen?

Energieberater?

Wurde eine Heizlastberechnung durchgeführt?

Wer hat die Heizlast berechnet?

Wer hat die Anlage gebaut? Installateur?

Wurde bei der Auslegung die aktuelle Nutzung / Teilnutzung des Gebäudes berücksichtigt?

Wurde eine zukünftige Sanierung des Gebäudes bei der Auslegung der WP berücksichtigt?

Heizkörpertausch wenn ja wieviel?

Hydraulischer Abgleich wirklich durchgeführt (ja/ nein / vielleicht)?

Wurden Sanierungsschritte im Zuge des WP Einbaus durchgeführt?

Förderung beantragt?

Anmerkungen

Block 3: Beweggründe für den Kauf der Wärmepumpenanlage?

Wirtschaftlichkeit

Heizkosten reduzieren

Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern

Unabhängigkeit von Energieimporten

Wollen Energie selbst erzeugen (PV)

Klimaschutz allgemein

Wollen moderne Technik einsetzen

Wollen Ihren CO₂-Fußabdruck reduzieren

Weiterer Gründe

Block 4: Erfahrungen im Betrieb / Probleme

Probleme nach der Einlaufphase

Temperaturen nicht erreicht

Energieverbrauch zu hoch (gefühlte Nutzer)

Lautstärke auffällig (selbst)

Lautstärke auffällig (Nachbarn)

Technischen Störungen nach Inbetriebnahme

Reparaturen nach der Inbetriebnahme

Weiterer Gründe

G.2 Zweite Eigentümerbefragung

Die Befragung wurde als Online-Formular mit in der Regel fünf Antwortmöglichkeiten (A) von sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden sowie teilweise „keine Angabe“/„nicht zutreffend“ durchgeführt.

1. Alles in allem gesehen, wie zufrieden sind Sie mit Ihrer Wärmepumpe?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden*
2. Wie zufrieden waren Sie mit der Installation der Wärmepumpe?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden*
3. Wie zufrieden sind Sie mit dem Betrieb bzw. der Funktion der Wärmepumpe?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden*
4. Wie zufrieden sind Sie mit der Bedienbarkeit / Steuerung der Wärmepumpe?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden sowie „keine Angabe, ich verstehe nichts an der Steuerung“*
5. Wenn Sie eine App zur Bedienung verwenden, sind Sie zufrieden mit der App?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden sowie „keine App-Nutzung“*
6. Werden in der App Hilfen oder Informationen angeboten, um einen effizienten bzw. energiesparenden Anlagenbetrieb zu erreichen?
A: *ja/nein/weiß ich nicht/keine App-Nutzung*
7. Was könnte an der Steuerung / App der Wärmepumpe verbessert werden. Welche Funktionen / Anzeigen sollten ergänzt werden.
A: Freitext
8. Wenn Sie eine Luft-Wasser-Wärmepumpe haben: Wie zufrieden sind Sie derzeit mit der Geräuscentwicklung Ihrer Wärmepumpe?
A: *sehr zufrieden – überhaupt nicht zufrieden*
9. Wenn Sie eine Luft-Wasser-Wärmepumpe haben: Wurden Sie durch Nachbarn auf die Geräuscentwicklung Ihrer WP angesprochen? (Mehrfachauswahl möglich)
A: *Nein/Ja, Nachbarn haben sich positiv über die Geräuscentwicklung geäußert./Ja, Nachbarn haben sich nach Möglichkeiten der Geräuschoptimierung erkundigt/Ja, Nachbarn haben sich über die Geräuscentwicklung beschwert/Ja, Nachbarn haben sich beschwert, die Regelung wurde zur Geräuschreduzierung angepasst. (Silent Mode oder Betriebszeiten / -modus angepasst)/Ja, die Geräuscentwicklung ist bemerkbar aber für die Nachbarn noch akzeptabel/trifft nicht zu; habe keine Luft-Wasser-Wärmepumpe*
10. Traten beim Betrieb der Wärmepumpenanlage Probleme auf, die Sie bisher noch nicht an das IWU/Herrn Swiderek gemeldet haben? (Mehrfachauswahl möglich)
A: *Die Anlage ist zeitweise ausgefallen/Teile der Anlagen sind ausgefallen/Räume wurden nicht richtig*

warm/Störungen wurden angezeigt, Anlage lief jedoch weiter/Störender Lärm bei Ihnen/Störender Lärm bei Nachbarn/Störung in der Elektronik, Bauteile wurden getauscht/Störungen am Kompressor/Kältemittel hat gefehlt/Sonstiges bitte bei der nächsten Frage angeben!

- 10.1. Falls Probleme aufgetreten sind die nicht in der Frage zuvor aufgeführt waren, diese bitte hier ergänzen: Bitte auch angeben, wann (Monat/Jahr) die Probleme aufgetreten sind.

A: Freitext

- 10.2. Konnten die oben genannten Probleme inzwischen gelöst werden? (ja für gelöst angeben / wenn sie nicht gelöst sind bitte erläutern warum nicht)?

A: Freitext

11. Hat eine Einweisung in die Nutzung und den energiesparenden / optimalen Betrieb der Wärmepumpe durch den Installateur oder Techniker des Herstellers stattgefunden?

A: ja /nein/weiß ich nicht

12. Falls eine Einweisung stattgefunden hat: Bitte geben Sie an, welche Aussagen für die Einweisung zutreffend waren. (Mehrfachauswahl möglich)

A: Die Einweisung war gut, ich habe alle für mich notwendigen Informationen bekommen./Die Einweisung hat den energiesparenden Betrieb berücksichtigt./Die Einweisung war nur auf den Betrieb / Handhabung bezogen./Die Einweisung war nur oberflächlich, ich hätte mir weitergehende Informationen gewünscht.

13. Hat der Installateur Sie aufgeklärt woran Sie einen effizienten Betrieb der Anlagen erkennen z. B. über Energieverbrauch und Energieerzeugung, die Effizienzanzeige (Arbeitszahlen, Jahresarbeitszahlen JAZ) o. Ä.

A: ja, das wurde verständlich erklärt/ja, aber nicht verständlich genug/nein, das wurde nicht erklärt

14. Wurden die Einstellungen der Anlage vom Installateur nach der Inbetriebnahme noch einmal optimiert?

A: ja/nein

15. Welche Heizungsart hatte Sie vor der Umstellung auf die Wärmepumpe?





A: Erdgas Heizung / Öl Heizung / Wärmepumpe / Holz Heizung (auch Pellet) / Stromdirektheizung (z. B. Nachtspeicher oder elektrische Fußbodenheizung usw.)




Sonstiges (bitte bei der nächsten Frage im Textfeld ergänzen)

16. Wie hoch war der durchschnittliche jährliche Energieverbrauch des ersetzten alten Heizsystems? (z. B. 2500 l Heizöl, 1000 m³ Erdgas, ...) (Bitte die Angabe der Einheit nicht vergessen)

A: Freitext

Anhang H Anlagendatenblätter aus den Vor-Ort-Terminen


Gebäudenummer	1	Datum Ortstermin	20.02.2025
PLZ	64319	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1951	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	nein	Effizienz der Anlage	niedrig
Ausgangslage	Anlage mit Kombispeicher, niedrige Effizienz		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Monoblock-LW-Wärmepumpe mit 800 l Kombispeicher, Einspeisung in 2 Ebenen (über 3-Wege-Ventile umgeschaltet), Heizkörper in allen Räumen; Frischwasserstation für WW-Bereitung, Zirkulationsrücklauf über 3-Wege-Ventil in zwei Speicherebenen möglich		
Analyse Regelung	Maximale Vorlauftemperatur 55 °C, Nachtabsenkung deaktiviert, WW-Solltemperatur: 45 °C, WW-Ladung 24 h, Zirkulation 24 h (Regelung Soll-Zirkulationsrücklauf: 35 °C), Regelung Heizung und Frischwasserstation sind nicht miteinander gekoppelt; bei Außentemperaturen über ca. 5 °C wird der Heizkreis bei Pufferladung abgeschaltet.		
Analyse Installation	Pufferfühler sind zu klein und liegen nur lose in den Tauchhülsen; Kaltwassernachspeisung von oben in den Zirkulationsrücklauf - dadurch Verluste durch Wärmeleitung; Überdruckventil nicht an Leitung angeschlossen und würde in Frischwasserstation abblasen		
Empfehlungen Heizbetrieb	Passende Pufferfühler montieren; Thermostatventile voll öffnen und Heizkurve absenken; Aufgrund des Kombispeichers ist die Anlage meist im Betriebszustand WW-Bereitung. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	3-Wege-Ventil im Rücklauf der Frischwasserstation prüfen, da dieses bei Test nicht zwischen Zirkulation und Zapfung umgeschaltet hat. Prüfen ob dauerhafte Umwälzung durch Frischwasserstation notwendig ist - dies könnte ein Grund für die Durchmischung des Speichers sein. Testweise die Zeiten der Warmwasserbereitung auf tagsüber beschränken, ggf. wird der Puffer dann mehr im Heizungsbetrieb mit niedrigeren Temperaturen geladen.		
Sonstiges	Heizstab ist vorhanden, wird aber nicht betrieben; Holzofen ist vorhanden und wird viel genutzt; unklar, ob hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde; Geräusche bei Volllast im Heizkreis, die auch durch Tausch der Pumpe nicht behoben werden konnten.		
Bilder der Anlage	   		

Gebäudenummer	15	Datum Ortstermin	13.03.2025
PLZ	64347	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1984	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	ja	Effizienz der Anlage	mittel
Ausgangslage	preisgünstige Anlage, bivalent im Bestand mit Gaskessel integriert		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Monoblock-LW-Wärmepumpe, bivalent in bestehende Anlage mit Gaskessel integriert; Pufferspeicher (200 l) neu, Trinkwarmwasserspeicher (120 l) im Bestand; Gaskessel übernimmt die Warmwasserbereitung und wird über Heizstabkontakt der Wärmepumpe zugeschaltet, wenn deren Leistung nicht mehr ausreicht		
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 19 °C im Wohnzimmer von 7:30 bis 23:00, nachts abgesenkt; max. Vorlauftemperatur 50 °C bei -10 °C, 20 °C bei 20 °C außen; sommerliche Abschaltung von Hand		
Analyse Installation	Komplizierte Hydraulik mit paralleler Einbindung der beiden Ausgänge der Gastherme; Anschlüsse kaum gedämmt, zwei Rückschlagklappen ohne Kontrollmöglichkeit eingebaut		
Empfehlungen Heizbetrieb	Leitung im Heizungsraum nachträglich besser dämmen (Leitung von Wärmepumpe zum Heizungsraum sind bereits gut gedämmt); ggf. Hydraulik vereinfachen		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	Im Sommer Warmwasser mit Wärmepumpe erwärmen; dann sollten mindestens zwei Ladezeiten am späten Vormittag und ggf. den frühen Abendstunden vorgesehen werden, gleichzeitig dann die WW-Temperatur reduzieren		
Sonstiges	Kaminofen vorhanden, wird regelmäßig genutzt		
Bilder der Anlage	   		

Gebäudenummer	17	Datum Ortstermin	13.03.2025
PLZ	64401	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1968	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	nein	Effizienz der Anlage	niedrig

Ausgangslage	Anlage mit schlechter Effizienz
Beschreibung der Anlage vor Ort	Split-LW-Wärmepumpe nur für Gebäudebeheizung, WW über Durchlauferhitzer / el. Kleinspeicher, kein Pufferspeicher, Reihenspeicher 18 l im Rücklauf, Überströmventil am Abgang Heizkreis. Bestandsheizkörper (im Wohnzimmer mit Ventilatorunterstützung), funkgesteuerte Thermostatventile mit Zeitprogramme; Teilbeheizung
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 22 °C im Wohnzimmer, Praxis 23 °C, 5:30 bis 22:00, nachts und einige Räume überwiegend abgesenkt; max. Vorlauftemperatur 55 °C ab -6 °C, 35 °C bei 20 °C außen; sommerliche Abschaltung von Hand.
Analyse Installation	Leitungen nur teilweise gedämmt, Reihenspuffer ungedämmt, Kältemittelleitung ca. 8 m lang und nur mit Schlauch gedämmt
Empfehlungen Heizbetrieb	Nachtabsenkung auch in der Wärmepumpe hinterlegen, Parallelverschiebung schrittweise absenken; Reihenspuffer dämmen, Leitungsdämmung vervollständigen, auch Armaturen berücksichtigen, Dämmstärkt 30 mm nach GEG bei Leitungen mit mehr als 22 mm Innendurchmesser.
Empfehlungen Warmwasserbereitung	-
Sonstiges	Kachelofen wird im Winter regelmäßig genutzt (2-3 Festmeter/a)

Bilder der Anlage			
-------------------	--	--	--


Gebäudenummer	41	Datum Ortstermin	20.01.2025
PLZ	68623	Mit Gutachter	ja
Baujahr Gebäude	1993	Zustand Gebäude	unsaniert
Bivalente Anlage	nein	Effizienz der Anlage	niedrig
Ausgangslage	Anlage erreicht nicht die erwartete Effizienz		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Monovalente LW-Wärmepumpe, Reihenspuffer zur Abtauung, TWW-Speicher in Innengerät der Monoblock-Wärmepumpe integriert, Fußbodenheizung im EG und Heizkörper in 1./2. OG		
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur in Regelung 25 °C, max. Vorlauftemperatur 55 °C, Nachtabenkung keine, Heizkennlinie HK Kreis 1,0; separate Regelung für FB-Kreis: Kennlinie 1,5 aber im Absenkbetrieb; WW-Solltemperatur: 54 °C; WW-Ladung: 24 h, Zirkulation: morgens+abends		
Analyse Installation	Neue und alte Komponenten im Heizraum; alte Regelung für FB-Heizkreis, die nicht mit WP kommuniziert und deren Funktionsweise nicht geklärt werden konnte. Eingestellt ist eine Heizkurve von 1,5 (nachts -2, tagsüber +6 und dauerhaft auf Urlaubsbetrieb). FB-Heizkreis läuft immer in die Temperaturbegrenzung.		
Empfehlungen Heizbetrieb	Alte FB-Mischerregelung ersetzen und direkt von WP durchführen lassen, alternativ Heizkennlinie von 1,5 absenken, wenn Regelung noch funktioniert (Vorschlag 0,6 bis 0,4, Nachtabenkung max. 2°C geringer als Tagbetrieb), Pumpe FB-Heizkreis von "autoadapt" auf "proportional" umstellen, Stufe FB-Pumpe reduzieren, Heizkurve HK Kreis weiter absenken auf 0,9 und Sollraumtemperatur reduzieren Richtung 22°C. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	WW-Bereitung auf die Mittagszeiten eingrenzen (z.B. 11-14 Uhr) Solltemperatur leicht absenken (z. B. 50 °C), ggf. Laufzeiten Zirkulation weiter reduzieren. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.		
Sonstiges	PV-Strom wird nicht für die Wärmepumpe genutzt, Kamin ohne Wassertasche ist vorhanden, wird aber nicht genutzt (da undicht)		
Bilder der Anlage			

Gebäudenummer	45	Datum Ortstermin	20.01.2025
PLZ	68623	Mit Gutachter	ja
Baujahr Gebäude	1980	Zustand Gebäude	Fenstertausch
Bivalente Anlage	nein	Effizienz der Anlage	gut

Ausgangslage	Anlage mit solider Effizienz, könnte aber mit FB-Heizung effizienter sein
Beschreibung der Anlage vor Ort	Split-LW-Wärmepumpe mit großer Entfernung zum Außengerät (ca. 12 m), Parallelpuffer und TWW-Speicher, Fußbodenheizung und Wärmeübertrager zur Trennung von WP und Heizkreis, hydraulischer Abgleich in Eigenregie
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 21 °C, max. Vorlauftemperatur 35 °C bei -10°C, kombinierte Regelung von Außen- Innentemperatur eingestellt, um Takten zu reduzieren; WW-Temperatur: 50 °C, WW-Bereitung nur mittags für 1,5 h aktiv, Zirkulationspumpe über Funktaster nach Bedarfsanforderung.
Analyse Installation	Leitungsämmung könnte dicker ausgeführt werden
Empfehlungen Heizbetrieb	Lange Kältemittelleitung (ca. 12 m, nur dünn gedämmt) sollte besser gedämmt werden, diese ist aber nachträglich schwer zugänglich
Empfehlungen Warmwasserbereitung	keine
Sonstiges	Offener Kamin mit Kasteneinsatz (mit Lüfter) ist vorhanden, aber außer Betrieb; Regelung vergisst Parameter, wenn die Anlage vom Netz getrennt war.

Bilder der Anlage	   
-------------------	--

Gebäudenummer	48	Datum Ortstermin	20.01.2025
PLZ	68642	Mit Gutachter	ja
Baujahr Gebäude	1950	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	ja	Effizienz der Anlage	mittel
Ausgangslage	Bivalente Anlage mit mittlerer Effizienz		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Split-LW-Wärmepumpe mit neuem Gaskessel, parallelem Puffer- und TWW-Speicher, Wärmeübertrager zum Heizkreis, nur Heizkörper, keine HK getauscht		
Analyse Regelung	Wärmepumpen: Raumsolltemperatur 23 °C, Heizkennlinie 1,4 Niveau 5, max. Vorlauftemperatur 57 °C, Nachtabenkung 20°C, WW-Solltemperatur: 50 °C, Zirkulation 4:30 - 22:00; Kessel: Raumsollt.26°C; Heizkennlinie 1,4 Niveau 4; Nachtabenkung 20°C		
Analyse Installation	Außengerät sehr hoch montiert, was die Wartung erschwert		
Empfehlungen Heizbetrieb	Leistung Umwälzpumpe reduzieren, Systemdruck sehr hoch - anpassen (auch im Ausdehnungsgefäß), ggf. Heizkörper tauschen, Heizkurven schrittweise reduzieren (1.0 sollte reichen) und bei WP und Kessel vereinheitlichen, gleiche Neigung, gleiches Niveau und gleiche Sollraumtemp. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	WW-Bereitung in die Mittagszeiten verlegen (PV-Nutzung), Zirkulationszeiten reduzieren ggf. Intervallbetrieb bei Zirkulation oder Funkanforderung nachrüsten. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.		
Sonstiges			
Bilder der Anlage	    		

Gebäudenummer	53	Datum Ortstermin	24.02.2025
PLZ	68623	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1992	Zustand Gebäude	unsaniert
Bivalente Anlage	ja	Effizienz der Anlage	gut
Ausgangslage	Pellet-Hybrid-Anlage mit guter Effizienz		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Monoblock-Hybrid-LW- Wärmepumpe mit Pellet-Kessel und Trinkwasserspeicher mit Zirkulation (deaktiviert) ; Heizstab vorhanden, aber nicht angeschlossen		
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 20 °C, Bivalenzpunkt zwischen +5 und -2 °C, Heizkurve 1,0; WW-Solltemperatur: 47 °C, WW-Bereitung zw. 8:00 und 20:00; bei PV-Überschüssen wird TWW-Speicher um 10 K angehoben		
Analyse Installation	Wärmepumpe in Reihe durch den Pelletkessel geführt und von dort verteilt, Anschlüsse und Armaturen nicht gedämmt		
Empfehlungen Heizbetrieb	Heizkurve von 1,0 auf 0,8 absenken (wurde am OT durchgeführt), Armaturen nachträglich dämmen		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	keine		
Sonstiges	Kaminofen ist vorhanden und wird auch genutzt; Klimagerät für den Sommer vorhanden, wird gelegentlich auch zum Heizen genutzt; innerhalb der Garantiezeit war der Wärmeübertrager der WP defekt, anschließend wurde ein Schlammabscheider nachgerüstet		
Bilder der Anlage			

Gebäudenummer	52	Datum Ortstermin	24.02.2025
PLZ	68642	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1994	Zustand Gebäude	unsaniert
Bivalente Anlage	nein	Effizienz der Anlage	mittel





Ausgangslage	Monoblock mit mäßiger Effizienz
Beschreibung der Anlage vor Ort	Monoblock-LW-Wärmepumpe, 100 l Heizungsspeicher parallel eingebunden und 300 l WW-Speicher, FB-Heizung im EG und Heizkörper im OG (2 Heizkreise)
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 22 °C (zwischen 5:00 und 8:00 auf 24 °C angehoben nur HK Kreis), max. Vorlauftemperatur 40 °C für FB-Heizung, 55 °C für Heizkörper, Steigung 0,8 (FB) und 1,5 (HK), WW-Solltemperatur: 50 °C, WW-Bereitung 6:00-22:00, Zirkulation mit Zeitschaltuhr (6-22 Uhr)
Analyse Installation	Kombination von neuer und alter Verrohrung im Heizkeller, Armaturen nicht gedämmt
Empfehlungen Heizbetrieb	Heizkurve Heizkörper von 1,5 auf 1,2 absenken (beim OT durchgeführt); Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.
Empfehlungen Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung tagsüber durchführen (PV Nutzung ab z.B. 11-14 Uhr), Zirkulationszeiten reduzieren und ggf. Taktung einstellen 15 min an 15 min aus. Leitungsdämmung an den Anschlüssen und Armaturen ergänzen.
Sonstiges	PV-Heizstab (bis 60 °C) unten im Speicher vorhanden (nicht mit WP kombiniert), Kamin und Klimagerät für 2. OG vorhanden

Bilder der Anlage	   		
-------------------	---	--	--

Gebäudenummer	78	Datum Ortstermin	21.01.2025
PLZ	64342	Mit Gutachter	ja
Baujahr Gebäude	1977	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	ja	Effizienz der Anlage	hoch

Ausgangslage	Anlage mit hoher Effizienz
Beschreibung der Anlage vor Ort	Bivalente LW WP-Anlage mit neuem Gaskessel, Bivalenzpunkt 2 °C, Heizkörper in allen Räumen getauscht (Bäder zus. FB), ein Heizkörper mit zus. Ventilatoren ausgestattet, Einrohrverteilung, Parallelpufferspeicher sowie Trinkwasserspeicher mit externer Beladung
Analyse Regelung	Raumsolltemperatur 22 °C, keine Nachabsenkung, Heizkennlinie: 0,9 (HK) bzw. 0,3 (FB), WW-Solltemperatur: 45 °C, Ladung tagsüber, Zirkulation: 1,5 h morgens, Heizstab nicht angeklemmt, PV-Heizstab aktiv, Silent-Mode nachts aktiv, Bivalenzpunkt ab 2 °C dynamisch über Regelung aber bisher nicht benötigt worden.
Analyse Installation	Systematische Installation, gute Leitungsdämmung
Empfehlungen Heizbetrieb	Pumpe FB-Heizkreis von 4 auf 2 reduzieren
Empfehlungen Warmwasserbereitung	Zur Reduktion unnötiger Kesselaktivierungen bei der WW-Bereitung: Rampen mit Sollwerten in 5°C Schritten bis zur Sollwarmwassertemperatur in der Aufheizzeit testen.
Sonstiges	Kamin für Stückholz (ca. 400 kWh/a)

Bilder der Anlage	   
-------------------	---

Gebäudenummer	79	Datum Ortstermin	11.03.2025
PLZ	64390	Mit Gutachter	nein
Baujahr Gebäude	1978	Zustand Gebäude	teilsaniert
Bivalente Anlage	ja	Effizienz der Anlage	mittel
Ausgangslage	Bivalente Anlage mit mäßiger Effizienz		
Beschreibung der Anlage vor Ort	Bivalente Anlage mit Split-LW-WP (R410A) und Gaskessel, hydraulische Weiche und Trinkwarmwasserspeicher		
Analyse Regelung	Raumsolltemp 27 °C bei Komfort (5:30-12:00), 25 °C bei Normal (12:00-23:00) und 19 °C bei Absenkung (23:00-5:30) Heizkennlinie: 0,8, Sommer/Winter-Umschaltung: 17 °C Bivalenztemperatur Hgz.: 5°C; WW 2°C, Grenztemperatur (Umschaltung auf Gaskessel): 0°C: WW Temperatur 49°C Zirkulation 7:15-13:30 Uhr, danach manuelle Anforderungen über Shelly Funksteckdose		
Analyse Installation	Leitungsämmung unvollständig, von Eigentümern nachgedämmt, Kältemittelleitung nur mit dünnem Schlauch gedämmt; Thermostatventile sind unten über dem Fußboden montiert und werden in letzter Zeit kaum verändert; Einstellung in der Regel zw. 2 und 3,5		
Empfehlungen Heizbetrieb	Absenken der Heizkurve, um möglichst wenig Abregelung über die Thermostaten zu erreichen, ggf. Durchfluss erhöhen. Ein Pufferspeicher statt der hydraulischen Weiche könnte das Takten verringern. Ggf. in einzelnen Räumen mit geringer Heizleistung Heizkörperlüfter / -verstärker einsetzen, um die Heizkurve zu reduzieren.		
Empfehlungen Warmwasserbereitung	Ggf. Zirkulation takten (über Shelly) z.B. 5 min an - 15 min aus, je nach Auskühlverhalten der Leitungen.		
Sonstiges	Leitungsämmung an den Anschlüssen und Armaturen mit ausreichend dicker Dämmung ertüchtigen.		
Bilder der Anlage	   		

Anhang I Anlagen, die nicht in der Auswertung berücksichtigt wurden

Wärmepumpenanlagen, bei denen es Unstimmigkeiten mit den Daten gegeben hat, wurden nicht in der Auswertung berücksichtigt. Davon waren sieben Teilnehmer betroffen. Meist haben Störungen dazu geführt, dass von 2024 keine vollständigen Daten vorlagen. In diesem Abschnitt wird auf diese Anlagen noch einmal eingegangen. Die Anlagen der Teilnehmer sind in den Steckbriefen mit aufgeführt.

Teilnehmer 4: Es hat eine Störung gegeben die dazu geführt hat, dass die Daten von Januar 2024 bis einschließlich Juni 2024 nicht plausibel waren und nicht genutzt werden konnten. Ab Juli 2024 liegen wieder Daten vor und es kann eine JAZ für die Heizperiode 07/2024 – 06/2025 von 3,7 ermittelt werden.

Teilnehmer 43: Bei dieser Anlage sind nur die Daten bis einschließlich Januar 2024 auswertbar. Aus den Daten des Zeitraums Mai 2023 bis Dezember 2023 resultiert eine Arbeitszahl von 3,3 als Mittelwert von internen Daten aus der Wärmepumpe und externen Zählerdaten. Ab Februar 2024 sanken die Arbeitszahlen auf Werte von um die 2,0 und stabilen sich erst 2025 nach mehrere Technikereinsätzen wieder auf Werte von über 2,2. Die Beheizung des Gebäudes funktionierte die ganze Zeit wie gehabt, daher liegt die Vermutung nahe, dass es eine Störung bei der Ermittlung der Wärmemengen in der Steuerung gibt.

Teilnehmer 53: Bei dieser Anlage gab es eine Störung im Zeitraum Mai bis Juli 2024, so dass keine Daten einer kompletten Heizperiode vorliegen. Die korrigierten Arbeitszahlen der Anlage lagen für das zweite Halbjahr 2023 bei 2,9. Für 2024 (ohne Mai, Juni, Juli) bei 3,2 und für das erste Halbjahr 2025 bei 2,7. Bei dieser bivalenten LW-WP mit Pelletkessel wurden die Zählerdaten des Stromverbrauchs aus der zentralen Steuerung des Systems entnommen, die Wärmemengen aus internen Daten der Wärmepumpensteuerung.

Teilnehmer 75: Bei dieser Anlage sind gleich mehrere Störungen aufgetreten, so dass die Daten 12/23 – 01/24, 07/24 – 10/24, 01/25 – 03/25 fehlen. Bei der Erstinstallation gab es schon einen Fehler, der weitere Störungen verursachte. Der Hersteller und Installationsbetrieb haben jedes Mal sehr lange benötigt, um die Störung zu identifizieren und zu beheben. Die an den Bilanzkreis angepasste Arbeitszahl aus den vorliegenden Daten liegt bei 3,7. Somit scheint die Anlage gut zu funktionieren, wenn keine Störung auftritt. Bei der Arbeitszahl ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass viele Wintermonate in der Erfassung fehlen.

Teilnehmern 77: Bei dieser Anlage liegen realistische Daten von 2023 vor, die korrigierte JAZ 2023 lag bei 2,9. Ab Januar 2024 fielen die Monatswerte der Arbeitszahlen auf Werte ohne ersichtlichen Grund unter 1,8 ab. Die Wärmeversorgung des Gebäudes war nicht beeinträchtigt. Die Ursache lag laut Techniker (02/2025) bei einem defekten Sensor, der die Rücklauftemperatur nicht korrekt erfasst hat. Zudem wurde ein Software-Update eingespielt. Seit 02/2025 liegen die Monatswerte der Arbeitszahlen wieder im Bereich des Jahres 2023.


Teilnehmer 82: Bei dieser LW-WP lagen die Stromverbrauchswerte aus einem Zwischenzähler vor. Nachdem die Monatswerte der Arbeitszahlen unrealistisch hoch lagen (über den COP-Werten) wurde festgestellt, dass beim Stromzähler die Außeneinheit nicht komplett erfasst wurde. Dieses Problem wurde im Dezember 2023 behoben. Auch danach wurden jedoch immer noch Arbeitszahlen von über 6 für einzelne Monate ermittelt. Im Dezember 2024 wurden dann durch einen Techniker ein Sensor getauscht und ein System-Update eingespielt und damit auch alle Daten in der Anlage gelöscht. Ab Januar 2025 liegen wieder Daten vor, die sich jetzt in einem realistischen Rahmen bewegen. Die Arbeitszahl liegt für 01/2025 – 06/2025 bei 3,0. Vor dem Sensortausch und dem Update lagen die Werte für 06/2023 - 12/2023 bei 5,3 und für 01/2024 – 11/2024 bei 5,6.

Teilnehmer 47: Von diesem Teilnehmer liegen alle Daten von 03/2023 bis 06/2025 vor. Da es sich um das baugleiche Wärmepumpenmodell wie von Teilnehmer 82 handelt, haben wir es in der Auswertung nicht berücksichtigt. Bei der detaillierten Betrachtung der vorhandenen Daten schienen die erzielten Arbeitszahlen nicht realistisch. In Januar 2024 ergibt sich aus der Datenlage eine Arbeitszahl von 5,0 bei einer mittleren Außentemperatur von 2,2 °C am Standort. Nach den technischen Daten der Anlage wird ein COP bei A2/W35 von 4,41 erreicht. Die Wärmepumpe besitzt bei der eingestellten Heizkurve eine Vorlauftemperatur von 45 °C bei 2 °C Außentemperatur. Eine Arbeitszahl von 5,0 ist damit für den Zeitraum sehr unwahrscheinlich.

Die Monatswerte der Arbeitszahlen liegen nicht wie bei Teilnehmer 82 über 6,0 jedoch in vielen Monaten über 5,0. Daher wird davon ausgegangen, dass hier ein ähnliches Problem vorliegt, zumal sich auch hier der Techniker des Herstellers für eine Überprüfung und ein Software-Update (nach dem Projektzeitraum) angekündigt hat.

Anhang J Gebäudedatenblätter aller Teilnehmer

Gebäude-Nr.	1	Postleitzahl	64319
-------------	---	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1949...1957
beheizte Wohnfläche	150 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...


Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden
DA Gaubenwangen 10cm, FE 1980 erneuert 2020, 2 fach hinten raus 2023, Vorderfront teilweise, Vorhangfassade ohne Dämmung im 1 OG, oGD 10cm					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,71	185,7	11,0	13,8	
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]	

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	10	kW	
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,11		
Kältemittel	R454B	SCOP 55°C	3,45		
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt			
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	55 °C @ -10 °C		
Modulierend	ja	Nachtabsenkung			
SG-Ready	ja	Heizstab	7,5	kW	
Warmwasserbereitung: WP-Zentral, Kombispeicher mit Frischwasserstation					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
-		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	800 l	45 °C	7 - 24 Uhr, Zirkulation Soll-Temp. 35°C im RL		
Kombispeicher	800 l	Einbindung	parallel		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein			

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)									
Verbräuche 2024									
Strom		Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾			Kennwert Wärme ⁽⁵⁾		
Wärmepumpe		3.250 kWh		Wärme- pumpe		8.272 kWh		55,1 kWh/(m²*a)	
Heizstab		- kWh		Kessel		0 kWh		0,0 kWh/(m²*a)	
				Sonstiges		4.080 kWh		27,2 kWh/(m²*a)	
Summe						12.352 kWh		82,3 kWh/(m²*a)	
⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)						⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen			
Effizienz der Wärmepumpe									
Zeitraum						(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	3/23	bis	12/23)	›	2,6	an Wärme gesamt:		67%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	2,5	Anteil WW bei WP:		85%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,5			
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,6			
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,5			
Einordnung der Ergebnisse für 2024									
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>									

Gebäude-Nr.	2		Postleitzahl	64625	
-------------	---	--	--------------	-------	--



Gebäudetyp	EFH	
Baualtersklasse (BAK)	...1859	
beheizte Wohnfläche	190	m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1979...1983	
PV-Anlage	-	kW
Batteriespeicher	-	kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja
Fußboden					
DA 14 cm; oGD 6cm; AW teilweise innen 6-20cm (12cm Mittel) Fachwerk alt, teilweise außen 6cm Hardfaserplatte gedämmt; FE 2-fach Sprossen					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,83	161,3	11,0	15,2	
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]	

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser		Nennleistung	16	kW
Aufstellung	Innen		COP A2W35	4,01	
Kältemittel	R410A		SCOP 55°C	3,48	
Baujahr	2020		Bivalenzpunkt	-5	°C
Betriebsweise	monoenergetisch		Auslegungs-Vorlauftemperatur	40 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja		Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja		Heizstab	ja (laut Datenblatt)	
Warmwasserbereitung: Gesonderte zentrale Abluft WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:			Solarthermie:		
-			-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Brauchwasserwärmepumpe					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser					
Puffer	720 l	Einbindung			
Wärmeverteilung					
Sonstige					

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.575 kWh		Wärme- pumpe 15.375 kWh	80,9 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			15.375 kWh	80,9 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	3/23	bis	12/23)	›	4,5	an Wärme gesamt:	100%
2023/24								
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,3		
2024/25								
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,3		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+

hinzugerechnet

-

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Stückholz.

Flächenheizung unter den Decken und nach Bedarf im Fußboden.

Gebäude-Nr.	4	Postleitzahl	34513
-------------	---	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1919...1948
beheizte Wohnfläche	122 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle						
sanierte Bauteile						
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja	Fußboden
Sanierung 2008: DA 14cm Aufdach PU 024; oGD Flocken 15-18cm; AW nur Hohlraum verfüllt ca. 7cm Schüttung auf EPS Basis 035; FE 3-fach; KD teilweise 8cm						
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast		
	0,38	117,8	11,0	7,4		
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]		

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	7,6	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,33	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,75	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	40 °C @ 0 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung		
SG-Ready	ja	Heizstab	Stufen 3; 6; 9 kW	
Warmwasserbereitung: WP-Zentral, mit Solaranlage, Kombispeicher mit Wärmeübertrager				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		Solarthermie ca. 5,5 qm, in den Kombispeicher eingebunden WW und HK		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		46 °C	Bewegungsmelder im Bad (max. 2 h pro Tag)	
Kombispeicher	825 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch		3 Stück	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	kWh	→ Wärmepumpe	kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	kWh	→ Kessel	kWh	- kWh/(m²*a)
		Sonstiges	kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ
2023	(von	1/23	bis	12/23)	› 4,4
2023/24					
2024					
2024/25					
2025	(von	1/25	bis	6/25)	› 3,6

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div></div>	Ladepumpe WW	<div></div>	Frischwasserstation	<div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div></div>	Ladepumpe Puffer	<div></div>	Pumpe Zirkulation	<div></div>
Standby WP	<div></div>	Heizungssteuerung	<div></div>	Abtauung (thermisch)	<div></div>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 13.000 kWh.
Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten. Datenausfall durch Störung von Dezember 2023 bis Juli 2024. Daher konnten nur JAZ für 2023 und 2025 ermittelt werden. Für die JAZ 2023 mussten an den Daten von Dezember 2023 korrekturen durchgeführt werden. Daher ist die JAZ 2023 mit größeren Unsicherheiten behaftet.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	5	Postleitzahl	64285
-------------	---	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	196 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	11,1 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,71	127,9	11,0	12,5
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12,5	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	3,98	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,68	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	37 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	ja / Datenblatt	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	48 °C	montags 2 h und donnerstag 2 h ohne Legionellen Programm	
Puffer	400 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Fußbodenheizung				

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	6.156 kWh		Wärme- pumpe 25.260 kWh	128,9 kWh/(m²*a)
Heizstab	632 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 1.224 kWh	6,2 kWh/(m²*a)
Summe			26.484 kWh	135,1 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	4,4	an Wärme gesamt:	95%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	4,2	Anteil WW bei WP:	11%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,1		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	3,7	Anteil Heizstab bei WP	10%
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,5		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

--

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	6	Postleitzahl	64720
-------------	---	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	200 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Ja Fußboden
DA 16cm Zwischensparrendämmung 032 + 3,5cm Holzfaserdämmplatten Aufdach/ oGD 19,5cm Dämmung; FE 3-fach				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,41	111,3	11,0	11,5
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	13	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	5,01	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	4,15	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	35 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung		
SG-Ready	ja	Heizstab	6 kW	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP mit Kombispeicher mit Frischwasserstation				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		46 °C	6 - 10 und 20 - 22 Uhr	
Kombispeicher	1035 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	4.154 kWh	→	Wärme- pumpe	18.700 kWh	93,5 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			18.700 kWh	93,5 kWh/(m²*a)	


⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	4,5	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	4,5	Anteil WW bei WP:	41%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,5		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,3		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,3		

Einordnung der Ergebnisse für 2024



2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input checked="" type="checkbox"/>	Ladepumpe WW	<input type="checkbox"/>	Frischwasserstation	<input type="checkbox"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="checkbox"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="checkbox"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="checkbox"/>
Standby WP	<input type="checkbox"/>	Heizungssteuerung	<input checked="" type="checkbox"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="checkbox"/>

Legende:

☒ ☒ hinzugerechnet

☐ ☐ abgezogen


☐ ☐ nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Strom (Wärmepumpe) 7.350 kWh

Der vorhandene Heizkörperkreis wird fast auf der Temperatur der Fußbodenheizung betrieben und die versorgten Räume werden selten genutzt.

Gebäude-Nr.	7	Postleitzahl	63486
-------------	---	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	160 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	10,8 kW
Batteriespeicher	13,5 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Ja Fußboden
DA Aufsparrendämmung 2012 nach EnEV 024 PUR/PIR 14cm Dicke (U-Wert 0,16); FE 2010 Ug-Wert 1,1				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,68	139,2	11,0	10,8
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	9,9	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,58	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,85	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	-10	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	49 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja, nicht angeschlossen	Heizstab	6 kW	
Warmwasserbereitung: WP Zentral über Kombispeicher				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Kaminofen mit Wassertasche		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		45 °C	6 - 8 und 18 - 20 Uhr	
Kombispeicher	800 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch		4 Stück	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	6.543 kWh		Wärme- pumpe 18.853 kWh	117,8 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 2.856 kWh	17,9 kWh/(m²*a)
Summe			21.709 kWh	135,7 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP	
2023	(von	7/23	bis	12/23)	›	3,3	an Wärme gesamt: 87%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,1	
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,9	
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,8	
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,7	

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>


Legende: ++ hinzugerechnet -- abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 23.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	12	Postleitzahl	64747
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	224 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
DA Original 8cm, Ostdach Nachträglich 12cm MiWo; FE Original (Ug=1,3)				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,57	133,0	11,0	15,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	16	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	4,50	
Kältemittel	R410a	SCOP 55°C		
Baujahr	2016	Bivalenzpunkt	-19	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	43 °C @ -20 °C	
Modulierend	k.a.	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	ca. 6 kW	
Warmwasserbereitung: Teil dezentral, Solaranlage, DLE, Boiler				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		ca. 4 qm nur WW, WW über DLE und Boiler		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser				
Puffer	200 l	Einbindung		
Wärmeverteilung				
Fußbodenheizung				

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	5.333 kWh		Wärme- pumpe 22.413 kWh	100,1 kWh/(m²*a)
Heizstab	147 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			22.413 kWh	100,1 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	11/23	bis	12/23)	›	4,8	an Wärme gesamt:	100%
2023/24								
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,2	Anteil Heizstab bei WP	3%
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,2		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,0		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Strom (Wärmepumpe) 10.000 kWh.

Erdkollektoren ca. 1,5 m tief, etwa 10 Kreise a 100 m, 1000 m in Summe, Umluftanlage im Gebäude im Sommer als Kühlung über den Erdkreis.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	14	Postleitzahl	63549
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	178 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	9,6 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja Fußboden
DA 14cm Aufdach (022) und 16cm Zwischsparren (040); AW 36,5 Proton 1985 mit Dämmmörtel; FE OG 3-fach				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,49	127,3	11,0	11,5
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	12	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	4,87	
Kältemittel	R407C	SCOP 55°C	3,93	
Baujahr	2019	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	45 °C @ -18 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	ja, aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP mit 6 qm Solaranlage				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		6 qm südost am WW Speicher		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	53 °C	nein	
Puffer	Einbindung			
Wärmeverteilung				
Fußbodenheizung				

Gebäude-Nr.	15	Postleitzahl	64347
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	126 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,60	156,7	11,0	9,8
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	9,5	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,90	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,89	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	60 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über Gasheizung				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 2,8 - 15 kW		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	120 l		keine	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	1.494 kWh	→	Wärme- pumpe	4.307 kWh	34,2 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	6.262 kWh	49,7 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	3.420 kWh	27,1 kWh/(m²*a)
Summe			13.989 kWh	111,0 kWh/(m²*a)	

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	10/23	bis	12/23)	›	2,9	an Wärme gesamt:	31%
2023/24								
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,9		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,9		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,9		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div>-</div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div>-</div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div></div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div></div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div>+</div></div>

Legende:

+ | +

hinzugerechnet

- | -

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 19.000 kWh.
Gaskessel ist Bestandskessel, WP in die Bestandsheizung integriert, Warmwasserversorgung über der Gaskessel.
Regelmäßige Kaminofennutzung.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	17	Postleitzahl	64401
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1958...1968
beheizte Wohnfläche	200 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1979...1983
PV-Anlage	3 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
<p>DA Sparren von Innen ausgefüllt; oGD ca. 2cm; FE 2-fach 1980er Jahre, 2-3 Fenster 3-fach; Haus steht am Hang - UG ist halb Keller halb Wohnraum</p>				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,88	176,4	11,0	18,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	8	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,65	
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,28	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	57 °C @ -15 °C	
Modulierend	ja	Nachtab senkung		
SG-Ready	ja, laut BAFA bis 2020 (Datenblatt)	Heizstab	9 kW (im Gerät), Zwischenzähler	
Warmwasserbereitung: Dezentral elektrisch				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen Grundofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser				
Puffer		Einbindung		
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	7.027 kWh		Wärme- pumpe 12.893 kWh	64,5 kWh/(m²*a)
Heizstab	742 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 3.780 kWh	18,9 kWh/(m²*a)
Summe			16.673 kWh	83,4 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,0	an Wärme gesamt:	77%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	1,7		
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	1,8		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,1	Anteil Heizstab bei WP	11%
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,1		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepunpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 21.000 kWh.
Nur 18 Liter Reihenspufferspeicher im Rücklauf vorhanden.
Heizung über Heizkörper. Elektronische Heizkörperthermostate eingesetzt, die selbsttätig den hydraulischen Abgleich durchführen.
Die meisten Heizkörper bzw. Räume werden nach Nutzung über elektronische Thermostate unterschiedlich geregelt. Regelmäßige Grundofennutzung im Wohnbereich in der Heizperiode.
Der Heizstab war im Januar 2024 aufgrund einer Fehlbedienung in Betrieb, ansonsten wird er nicht benötigt.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	25	Postleitzahl	64720
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	...1859
beheizte Wohnfläche	90 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
Fenster	ja	Fußboden	
<p>Fachwerk: DA 18cm Flocke und 3,5cm Weichfaserplatte; AW 1/3 Südseite 13cm (040); Fe 1/3 3-fach, 2/3 2-fach aus 1986 ohne Wärmeschutz</p>			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,79	161,9	11,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]
			Heizlast
			7,6
			[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	9,8 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,32
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,35
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	53 °C @ -10 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	
SG-Ready	ja	Heizstab	Durchlauferhitzer 9 kW
Warmwasserbereitung: Zentral über WP			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:		Solarthermie:	
-		-	
Unabhängig vom Heizungssystem: -			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	300 l	40,5 °C	6 - 7:30 und 18 - 21 Uhr
Puffer	200 l	Einbindung	
Wärmeverteilung			
Heizkörper	Heizkörpertausch	7 Stück	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	5.288 kWh	<div><div></div><div></div><div></div></div>	Wärme- pumpe	14.695 kWh	163,3 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			14.695 kWh	163,3 kWh/(m²*a)	

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,7	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	2,6	Anteil WW bei WP:	24%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,8		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,8		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,8		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div>+</div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div>+</div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div></div></div>

Legende:

+ | +

hinzugerechnet

- | -

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 20.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	26	Postleitzahl	64297
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1949...1957
beheizte Wohnfläche	250 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	15 kW
Batteriespeicher	16 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle						
sanierte Bauteile						
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja	Fußboden
DA 16cm Aufsparrendämmung 2011; oGD 12cm aus Bestand; AW 12cm (2006); FE 2-fach 2002						
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast		
	0,45	124,3	11,0	15,2		
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]		

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Grundwasser	Nennleistung	19	kW
Aufstellung	Innen	COP W10W35	4,93	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,73	
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	45 °C @ -20 °C	
Modulierend	nein	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	7,5 kW jeweils in Puffer und WW Speicher	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	339 l	50 °C	6 - 9 und 17 - 22 Uhr	
Puffer	800 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.910 kWh		Wärme- pumpe 15.254 kWh	61,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	0 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 2.448 kWh	9,8 kWh/(m²*a)
Summe			17.702 kWh	70,8 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	3/23	bis	12/23)	›	4,0	an Wärme gesamt:	86%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,9	Anteil WW bei WP:	26%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,9		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,0	Anteil Heizstab bei WP	0%
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,0		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+|+|

hinzugerechnet

-|-|

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 44.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	28	Postleitzahl	65474
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	130 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	8 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle							
sanierte Bauteile							
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja	Fußboden	ja
Saniert 2008; DA 12cm PU und 4cm MiWo; AW 14cm EPS; FE 3-fach; KD PU 8cm							
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast			
0,33	78,4	11,0	5,1				
[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]				

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	5	kW	
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,75		
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,35		
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt			
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	42 °C @ -20 °C		
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K	
SG-Ready	ja	Heizstab	5,4 kW (laut Datenblatt)		
Warmwasserbereitung: Zentral über WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
-		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: -					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	185 l	45 °C	nein		
Puffer	100 l	Einbindung	parallel		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein			

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	1.447 kWh		Wärme- pumpe 5.471 kWh	42,1 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			5.471 kWh	42,1 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP	
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	3,9	an Wärme gesamt: 100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,9	
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,8	
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	3,6	
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,5	

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepunpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/> + <input type="text"/>

Legende:

+ hinzugerechnet

- abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 5.900 kWh.
SG Ready Regelung: Puffer wird bei 2 kW PV Überschuss 10°C höher als die VL gefahren.
Keine Warmwasserzirkulation.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	30	Postleitzahl	64832
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	160 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	0,59 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...


Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
oGD Sparren gedämmt; Rollädenkästen nachträglich gedämmt; Perimeter Dämmung 4cm XPS				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,56	144,4	11,0	11,4
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	10	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,01	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,30	
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	46 °C @ -20 °C	
Modulierend	nein	Nachtabsenkung		
SG-Ready	ja	Heizstab	ja, normalerweise aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP, Kombispeicher mit Frischwasserstation				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		56 °C	5:30 - 22 Uhr und abhängig von Rücklauftemperatur	
Kombispeicher	800 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)									
Verbräuche 2024									
Strom	Bezug				Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾		Kennwert Wärme ⁽⁵⁾		
Wärmepumpe	3.770 kWh	→	Wärme- pumpe		10.890 kWh		68,1 kWh/(m²*a)		
Heizstab	- kWh		Kessel		0 kWh		0,0 kWh/(m²*a)		
			Sonstiges		1.632 kWh		10,2 kWh/(m²*a)		
Summe					12.522 kWh		78,3 kWh/(m²*a)		
⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)						⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen			
Effizienz der Wärmepumpe									
Zeitraum						(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	6/23	bis	12/23)	›	3,0	an Wärme gesamt:	87%	
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,0	Anteil WW bei WP:	64%	
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,9			
2024/25	(von	7/24	bis	2/25)	›	2,8			
2025	(von	1/25	bis	2/25)	›	2,5			
Einordnung der Ergebnisse für 2024									
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><</div>									

Gebäude-Nr.	34	Postleitzahl	64291
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1919...1948
beheizte Wohnfläche	111 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
		Fenster	ja
			Fußboden
DA Flocken 16 cm; oGD mit MiWo; AW Norden 16 cm; Rest 12 cm; FE 2-fach WS Glas			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,43	110,2	11,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]
			Heizlast
			6,0
			[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	13 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,44
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	
Baujahr	2010	Bivalenzpunkt	-3 °C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	60 °C @ -15 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	
SG-Ready	nein	Heizstab	9kW
Warmwasserbereitung: Dezentral elektrisch			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:		Solarthermie:	
-		-	
Unabhängig vom Heizungssystem: -			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser			
Puffer	300 l	Einbindung	parallel
Wärmeverteilung			
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	3.425 kWh	<div><div></div><div></div><div></div></div>	Wärme- pumpe	8.838 kWh	79,6 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			8.838 kWh	79,6 kWh/(m²*a)	

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	3,3	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,0		
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,6		
2024/25								
2025								

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div></div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div></div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div>+</div></div>

Legende:

+ | +

hinzugerechnet

- | -

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 13.000 kWh.
Heizstab in EVU-Zähler enthalten.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	37	Postleitzahl	68642
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1919...1948
beheizte Wohnfläche	224 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	7,2 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
		Fenster	ja
			Fußboden
Haupthaus: DA/oGD tw. 12cm; AW 10cm; Anbau (1980): DA 22cm (2019); AW keine Dämmung (Poroton 30cm); FE 3-fach			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,49	130,8	11,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]
			Heizlast
			14,6
			[kW]

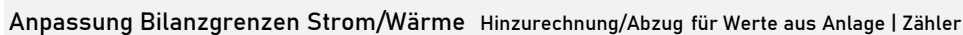
⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,96
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,35
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	55 °C @ -15 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja	Heizstab	ja, aus
Warmwasserbereitung: Zentral über WP, Kombispeicher mit Wärmeübertrager			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:	Solarthermie:		
-	-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser		52 °C	Bewegungsmelder im Bad (max. 1 h pro Tag)
Kombispeicher	650 l	Einbindung	parallel
Wärmeverteilung			
gemischt	Heizkörpertausch	HK in Einliegerwohnung getauscht, Rest von 2016	

Verbräuche 2024

Effizienz der Wärmepumpe

Einordnung der Ergebnisse für 2024



Ladepumpe Quelle	<input type="checkbox"/>	Ladepumpe WW	<input checked="" type="checkbox"/>	Frischwasserstation	<input type="checkbox"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="checkbox"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="checkbox"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="checkbox"/>
Standby WP	<input type="checkbox"/>	Heizungssteuerung	<input type="checkbox"/>	Abtauung (thermisch)	<input checked="" type="checkbox"/>
Legende:	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	hinzugerechnet	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>	abgezogen	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
					nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Gebäude-Nr.	41	Postleitzahl	68623
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	160 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	10 kW
Batteriespeicher	ja kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierete Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,55	152,4	11,0	12,2
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	13	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,31	
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,55	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	59 °C @ -20 °C	
Modulierend	k.a.	Nachtabenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	9 kW	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	470 l	52,5 °C	6 -9 und 18 -22 Uhr	
Puffer	50 l	Einbindung	Reihe	
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	8.371 kWh		Wärme- pumpe 22.327 kWh	139,5 kWh/(m²*a)
Heizstab	150 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			22.327 kWh	139,5 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,6	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	2,7	Anteil WW bei WP:	16%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,7		
2024/25							Anteil Heizstab bei WP	2%
2025								

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/> - <input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/> + <input type="text"/>


Legende: + hinzugerechnet - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Ersetzte vorherige Heizungsanlage (war ebenfalls eine Luft-Wasser-Wärmepumpe).

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	43	Postleitzahl	68642
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	400 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	9 kW
Batteriespeicher	10 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja Fußboden
DG aufgestockt (AW 30cm Poroton, DA30 cm); FE EG+1.OG 3-fach(2007), DG 3-fach (2017)				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,54	116,9	11,0	23,4
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	16	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,25	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,43	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	-7	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	55 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	optional (laut BAFA 2023)	Heizstab	6 kW	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	47 °C	6 - 9, 12 - 14 und 19 - 22 Uhr	
Puffer	100 l	Einbindung		
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	9 Stück		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	- kWh		Wärme- pumpe kWh	kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel kWh	kWh/(m²*a)
			Sonstiges kWh	kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ
2023	(von	5/23	bis	12/23)	› 3,3
2023/24					
2024					
2024/25					
2025	(von	4/25	bis	6/25)	› 2,1

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/> - <input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/> + <input type="text"/>

Legende:

+ hinzugerechnet


- abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 46.000 kWh.
Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.
Lüftungsanlage in 1 und 2 OG mit WRG.
Bei dieser Anlage sind nur die Daten bis einschließlich Januar 2024 auswertbar. Aus den Daten des Zeitraums Mai 2023 bis Dezember 2023 resultiert eine Arbeitszahl von 3,3 als Mittelwert von internen Daten aus der Wärmepumpe und externen Zählerdaten. Ab Februar 2024 sanken die Arbeitszahlen auf Werte von um die 2,0 und stabilisierten sich erst 2025 nach mehreren Technikereinsätzen wieder auf Werte von über 2,2. Die Beheizung des Gebäudes funktionierte wie gehabt, daher liegt die Vermutung nahe, dass es eine Störung bei der Ermittlung der Wärmemengen in der Steuerung gibt. Die angegebene JAZ für 2025 ist noch mit diesen Fehlern behaftet.

Gebäude-Nr.	45	Postleitzahl	68623
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	156 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	5 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden
AW 24cm Poroton mit 10cm Luftschicht; FE 3-fach				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,51	133,9	11,0	10,4
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,96	
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,35	
Baujahr	2020	Bivalenzpunkt	-7	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	35 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	9 kW	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	50 °C	nein	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Fußbodenheizung				

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	2.852 kWh		Wärme- pumpe 7.803 kWh	50,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			7.803 kWh	50,0 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,9	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	2,9	Anteil WW bei WP:	16%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,7		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,7		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,8		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Die Luft-Wasser Wärmepumpe hat für eine Anlage mit Fußbodenheizung eine relativ geringen JAZ. Bei Ortstermin mit Gutachter konnten keine offensichtlichen Gründe dafür gefunden werden.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	47	Postleitzahl	64720
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	156 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
AW Mauerwerk 30cm mit Gasbetonsteinen				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,55	132,4	11,0	10,8
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	17	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,40	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,83	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	60 °C @ -13 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	4 kW in WW Speicher, aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen wird nicht mehr genutzt.				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	200 l	47,5 °C	ausgeschaltet, 1 h/Tag empfohlen	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	alle neu		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	kWh	<div><div>→</div><div>Wärme- pumpe</div><div>→</div><div>Kessel</div><div>→</div><div>Sonstiges</div></div>	kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	kWh		kWh	- kWh/(m²*a)
			kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ
2023	(von	3/23	bis	12/23)	› 4,7
2023/24					
2024					
2024/25					
2025	(von	1/25	bis	6/25)	› 3,6

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div></div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div></div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div></div></div>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Stromdirektheizung.

Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.


Von diesem Teilnehmer liegen alle Daten von 03/2023 bis 06/2025 vor. Bei der detaillierten Betrachtung der vorhandenen Daten schienen die erzielten Arbeitszahlen nicht realistisch. In Januar 2024 ergibt sich aus der Datenlage eine Arbeitszahl von 5,0 bei einer mittleren Außentemperatur von 2,2 °C am Standort. Nach den technischen Daten der Anlage ist ein COP bei A2/W35 von 4,41 zu erreichen. Die Wärmepumpe besitzt bei der eingestellten Heizkurve eine Vorlauftemperatur von 45 °C bei 2 °C Außentemperatur. Eine Arbeitszahl von 5,0 ist damit für den Zeitraum sehr unwahrscheinlich.

Aus den Daten ergeben sich die folgenden Arbeitszahlen, die jedoch nicht plausibel sind:

03.23 bis 12.23: 4,6; 2024: 4,7; 01.25 bis 06.25: 3,6.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	48	Postleitzahl	68642
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1949...1957
beheizte Wohnfläche	140 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja Fußboden
DA oGD 2003; Fe 2000, 3x 2022				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,55	154,3	11,0	10,8
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	7	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,11	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	2,80	
Baujahr	2020	Bivalenzpunkt	-5	°C
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	74 °C @ -10 °C	
Modulierend	k.a.	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Gaskessel				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-Kessel 25 kW		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	50 °C	5 - 22 Uhr	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.547 kWh		Wärme- pumpe 10.658 kWh	76,1 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 16.766 kWh	119,8 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			27.424 kWh	195,9 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

	Zeitraum	(J)AZ	Anteil WP
2023	(von 3/23 bis 12/23)	› 2,9	an Wärme gesamt: 39%
2023/24	(von 7/23 bis 6/24)	› 3,0	Anteil WW bei WP: 32%
2024	(von 1/24 bis 12/24)	› 3,0	
2024/25			
2025			

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende: + | + hinzugerechnet - | - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 40.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	49	Postleitzahl	64295
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1919...1948
beheizte Wohnfläche	120 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	8,5 kW
Batteriespeicher	nein kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle							
sanierte Bauteile							
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja	Fußboden	ja
DA ca. 8cm MiWo 1980; oGD 20cm; AW 18cm (2000); FE teilweise 2020-22, 2-fach + 3-fach (ca. 50/50); KD ca. 6cm, teilweise							
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast			
0,47	132,6	11,0	7,7				
[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]				

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	5	kW	
Aufstellung	Außen	COP A2W35	3,89		
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,23		
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	-10	°C	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	51 °C @ -20 °C		
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K	
SG-Ready	ja	Heizstab	6 kW, aus		
Warmwasserbereitung: Zentral über WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
-		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	390 l	43 °C	nein		
Puffer	101 l	Einbindung	parallel		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein			

Gebäude-Nr.	52	Postleitzahl	68642
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	212 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	7,1 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
oGD 15cm				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ' ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,60	119,5	11,0	12,8
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	9	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,01	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,45	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monovalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	53 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP, mit PV Überschuss Heizstab				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	50 °C	6 - 22 Uhr	
Puffer	100 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	8 Stück		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	6.789 kWh		Wärme- pumpe 17.528 kWh	82,7 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 408 kWh	1,9 kWh/(m²*a)
Summe			17.936 kWh	84,6 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	3/23	bis	12/23)	›	2,6	an Wärme gesamt:	98%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	2,6	Anteil WW bei WP:	22%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,6		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,5		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,4		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+

hinzugerechnet

-

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 22.000 kWh.
Die Anlage besitzt einen PV-Heizstab, der im Warmwasserspeicher integriert ist und PV-Überschüsse in 400 W Stufen bis zu 2,7 kW an den Speicher abgeben kann. Diese Energiemengen werden nicht erfasst.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	53	Postleitzahl	68623
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	145 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	7,8 kW
Batteriespeicher	8 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierete Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
Gebäude original				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,60	168,6	11,0	12,4
	[W/(m²·K)]	[kWh/(m²·a)]	[kWh/(m²·a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	7,9	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,05	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,20	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	45 °C @ 5 °C	
Modulierend	k.a.	Nachtabsenkung		
SG-Ready	ja	Heizstab	ja, aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Pelletkessel, Komispeicher mit WT				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Pelletkessel 17 kW		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		47 °C	ist aus	
Kombispeicher	500 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	kWh	→ Wärmepumpe	kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	kWh	→ Kessel	kWh	- kWh/(m²*a)
		Sonstiges	kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ
2023	(von	6/23	bis	12/23)	› 2,9
2023/24					
2024					
2024/25					
2025	(von	1/25	bis	6/25)	› 2,5

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div>-</div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div>-</div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div>+</div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div>+</div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div>+</div><div></div></div>

Legende:

+ | +

hinzugerechnet

- | -

abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 22.000 kWh. Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.

Bei dieser Anlage gab es eine Störung im Zeitraum Mai bis Juli 2024, so dass kein Daten einer kompletten Heizperiode vorliegen. Die korrigierten Arbeitszahlen der Anlage lagen für das zweite Halbjahr 2023 bei 2,9. Für 2024 (ohne Mai, Juni, Juli) bei 3,2 und für das erste Halbjahr 2025 bei 2,5. Bei dieser bivalenten LW-WP mit Pelletkessel wurden die Zählerdaten des Stromverbrauchs aus der zentralen Steuerung des Systems entnommen, die Wärmemengen aus internen Daten der Wärmepumpensteuerung.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	54	Postleitzahl	61381
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	165 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	5,8 kW
Batteriespeicher	nein kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden
FE 2-fach (2020)				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,62	123,8	11,0	10,3
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	7	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,50	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,33	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	0	°C
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	51 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung		
SG-Ready	k.A. (laut BAFA 2023 ja)	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über Gas und Solaranlage				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 3,8-20 kW		Solarthermie ca. 6 qm, südwest, Dachneigung 45°, WW 300l Speicher (2001)		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	0 °C	6:40 - 8:50, 19:30 - 19:50 und 22 - 23:00 Uhr	
Puffer	100 l	Einbindung		
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	12 Stück, 3 Schicht NT-HK		

Gebäude-Nr.	58	Postleitzahl	65817
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1860...1918
beheizte Wohnfläche	150 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1979...1983
PV-Anlage	17 kW
Batteriespeicher	7,5 kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja
Fußboden				
DA ca. 12cm Zwischensparren; oGD 10cm; FE 2-fach (2012)				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,86	191,8	11,0	14,6
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,14	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,58	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	-7	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	45 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	9 kW (laut Unterlagen)	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Kaminofen mit Wassertasche, Kombispeicher mit Wärmeübertrager				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Kaminofen mit Wassertasche		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		45 °C	6 - 9 und 19 - 20 Uhr	
Kombispeicher	1000 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Gebäude-Nr.	59	Postleitzahl	63110
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	126 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	8,6 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach /oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Fußboden	
Gebäude original				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,59	167,5	11,0	10,4
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	16	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	4,92	
Kältemittel	R407C	SCOP 55°C	3,85	
Baujahr	2017	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	34 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja, wird nicht verwendet	Heizstab	ja, aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	180 l	46 °C	defekt seit ca. 2-3 Jahren	
Puffer	Einbindung			
Wärmeverteilung				
Fußbodenheizung				

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	2.835 kWh		Wärmepumpe 17.669 kWh	140,2 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			17.669 kWh	140,2 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

	Zeitraum	(J)AZ	Anteil WP
2023	(von 1/23 bis 12/23)	› 6,0	an Wärme gesamt: 100%
2023/24	(von 7/23 bis 6/24)	› 5,9	Anteil WW bei WP: 7%
2024	(von 1/24 bis 12/24)	› 6,0	
2024/25	(von 7/24 bis 6/25)	› 5,9	
2025	(von 1/25 bis 6/25)	› 5,8	

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 26.200 kWh. Die ermittelte JAZ ist sehr hoch. Der SCOP der Anlage liegt bei 35°C bei 4,975 und die Anlage läuft mit einer niedrigen VL-Temperatur oft unter 35°C. Es liegen Tageswerte der Energie und auch der Vor- und Rücklauftemperaturen des Erdreichs vor. Die Vorlauftemperaturen aus dem Erdreich liegen über die Jahre 2023-25 immer deutlich über 0°.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	60	Postleitzahl	63303
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1860...1918
beheizte Wohnfläche	140 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	3,6 kW
Batteriespeicher	13 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja
Fußboden				
Neubau 1991, Altbau (1903) DA nach EnEV 2002 gedämmt; Wfl: 85 m² Altbau, 45 m² Neubau				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,68	186,2	11,0	12,9
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent		Nennleistung	9 kW
Aufstellung	Außen		COP A2W35	3,97
Kältemittel	R410A		SCOP 55°C	3,08
Baujahr	2023		Bivalenzpunkt	5 °C
Betriebsweise	bivalent		Auslegungs-Vorlauftemperatur	62 °C @ -20 °C
Modulierend	ja		Nachtabsenkung	
SG-Ready	k.a. (laut BAFA bis 2020 ja)		Heizstab	nein
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Gaskessel u. Solaranlage in Kombispeicher mit Wärmeübertrager				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 2,9-18 kW		2 Röhrenkollektoren (2023), 2,87 m²/Stück, südsüdwest 35°		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		50 °C	6 - 23 Uhr	
Kombispeicher	470 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch		nein	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	4.501 kWh		Wärmepumpe 11.198 kWh	80,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 8.191 kWh	58,5 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 2.009 kWh	14,4 kWh/(m²*a)
Summe			21.398 kWh	152,8 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	8/23	bis	12/23)	›	2,6	an Wärme gesamt:	52%
2023/24								
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,5		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,7		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,7		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 26.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	62	Postleitzahl	64668
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	168 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	12,8 kW
Batteriespeicher	7,5 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja Fußboden
Holzständerbau 80er Jahre: DA U-Wert: 0,21; FE 3 neu und Haustür, Rest 1980				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,49	136,0	11,0	11,2
	[W/(m²·K)]	[kWh/(m²·a)]	[kWh/(m²·a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	13	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,58	
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,65	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	64 °C @ -20 °C	
Modulierend	k.a.	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ab 3,5 kW wird das WW um +10K erhöht.	Heizstab	8,4 kW	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	45 °C	6 - 22 Uhr	
Puffer	300 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	5.147 kWh		Wärmepumpe 15.817 kWh	94,2 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 816 kWh	4,9 kWh/(m²*a)
Summe			16.633 kWh	99,0 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	4/23	bis	12/23)	›	3,4	an Wärme gesamt:	95%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,2	Anteil WW bei WP:	19%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,1		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	3,1		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,0		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>	+


Legende: + | + hinzugerechnet - | - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 33.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	63	Postleitzahl	65760
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1958...1968
beheizte Wohnfläche	215 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	11 kW
Batteriespeicher	13 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle

sanierte Bauteile

Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden	ja
------------------------------	-----------	---------	----	----------	----

oGD Glaswolle 5-10cm auf Betondecke; FE 2021 2-fach; KD teilweise EPS 5cm

Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,70	146,7	11,0	15,3
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung

Wärmepumpe

Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	12 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,94
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	60 °C @ -10 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja, aber nicht angeschlossen	Heizstab	ja, aus

Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Gaskessel

Weitere Wärmeerzeuger

Kessel:	Solarthermie:
Gas-Kessel	-

Unabhängig vom Heizungssystem: -

Speicher

	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	300 l	50 °C	6 - 22 Uhr
Puffer	100 l	Einbindung	parallel

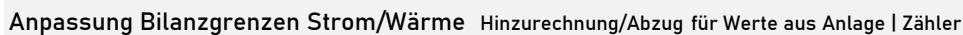
Wärmeverteilung

Heizkörper	Heizkörpertausch	alle gegen NT-HK Typ22
------------	------------------	------------------------

Verbräuche 2024

Effizienz der Wärmepumpe

Einordnung der Ergebnisse für 2024




Ladepumpe Quelle	<input type="checkbox"/>	Ladepumpe WW	<input type="checkbox"/> -	Frischwasserstation	<input type="checkbox"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="checkbox"/> -	Ladepumpe Puffer	<input type="checkbox"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="checkbox"/> -
Standby WP	<input type="checkbox"/> +	Heizungssteuerung	<input type="checkbox"/> +	Abtauung (thermisch)	<input type="checkbox"/>
Legende:	<input type="checkbox"/> + <input type="checkbox"/> +	hinzugerechnet	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> -	abgezogen	<input type="checkbox"/>
					<input type="checkbox"/>
					nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 55.000 kWh.
Im Zuge des Heizungsumbaus wurden auch die Fenster getauscht und die Heizkörpernischen mit Dämmstoff geschlossen.

Gebäude-Nr.	64	Postleitzahl	64589
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	134 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	3,68 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden	ja
DA ist ausgebaut und genutzt; oGD original; AW Innendämmung original; KD etwas gedämmt; FE 2-fach (2010, Ug 1,1, Uw ca. 1,3) ca. 80 %, 2 Türen + 1 FE 3-Fach (Ug 0,7, Uw ca. 0,9) ca. 20 %; KD ca. 5 cm ca. 1990 (plus Holzverkleidung)					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,69	134,6	11,0	8,7	
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]	

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12	kW	
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,94		
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40		
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt			
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	42 °C @ -10 °C		
Modulierend	k.a.	Nachtabsenkung	1	K	
SG-Ready	ja	Heizstab	ja (laut Unterlagen)		
Warmwasserbereitung: Zentral über WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
-		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: -					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	300 l	47 °C	keine		
Puffer	200 l	Einbindung	parallel		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch		10 Stück		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.574 kWh		Wärme- pumpe 13.396 kWh	100,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			13.396 kWh	100,0 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP	
2023						an Wärme gesamt:	100%
2023/24						Anteil WW bei WP:	11%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,7	
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	3,5	
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,4	

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/> + <input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+ hinzugerechnet

- abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 18.100 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	66	Postleitzahl	61381
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1919...1948
beheizte Wohnfläche	221 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle						
sanierte Bauteile						
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden	ja
DA saniert 2021; AW (von 1928) nein, Anbau (von 2021) Neubaustandard; FE 3-fach; KD gedämmt von oben						
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast		
	0,59	131,3	11,0	14,6		
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]		

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	11	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,27	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	40 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP und Gaskessel				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 3,2-19 kW		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	130 l	51 °C	7 - 9, 12 - 14:30, 18 - 21:30 Uhr	
Puffer	100 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	alle getauscht		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	5.852 kWh		Wärme- pumpe 24.700 kWh	111,8 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 2.610 kWh	11,8 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			27.310 kWh	123,6 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	3,5	an Wärme gesamt:	90%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,8	Anteil WW bei WP:	17%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,1		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,5		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,1		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepunpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen


nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Im Zuge der Sanierung inkl. Anbau wurde die komplette Heizungsanlage erneuert und konnte auf ein niedriges Niveau ausgelegt werden. Die bivalente Anlage ist eine WP-Gaskessel-Kombianlage in einem Gehäuse mit nur einer Steuerung.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	67	Postleitzahl	61381
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	114 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	10 kW
Batteriespeicher	11 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle

sanierte Bauteile

Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden	ja
------------------------------	----	-----------	---------	----	----------	----

DA Flachdach saniert, Satteldach aufgesetzt; oGD ca. 24cm; FE 3-fach; KD teilweise; Sanierung wurde mit der Heizung durchgeführt

Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,46	139,8	11,0	8,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung

Wärmepumpe

Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	11 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,27
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monovalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	53 °C @ -10 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein

Warmwasserbereitung: Zentral über WP und Gaskessel

Weitere Wärmeerzeuger

Kessel:	Solarthermie:
Gas-BW-Kessel 3,2-19 kW	-

Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen

Speicher

	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	130 l	50 °C	5:30 - 22:30 Uhr, 5/25 Takt
Puffer	200 l	Einbindung	parallel

Wärmeverteilung

gemischt	Heizkörpertausch	alle getauscht
----------	------------------	----------------

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	2.801 kWh		Wärme-pumpe 11.854 kWh	104,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 2.875 kWh	25,2 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			14.729 kWh	129,2 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	9/23	bis	12/23)	›	4,3	an Wärme gesamt:	80%
2023/24							Anteil WW bei WP:	18%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,2		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,1		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,0		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepunpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende: + | + hinzugerechnet - | - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Im Zuge der Sanierung von Dach, Fenster, Kellerdecke wurde auch die Heizungsanlage inkl. Rohrleitungen komplett erneuert. Der SCOP für 35°C liegt bei 4,38. Die Hauptflächen werden über die Flächenheizung beheizt. Die bivalente Anlage ist eine WP-Gaskessel-Kombianlage in einem Gehäuse mit nur einer Steuerung.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	68	Postleitzahl	61352
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	200 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	16 kW
Batteriespeicher	12 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle						
sanierte Bauteile						
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja	Fußboden
DA Spitzboden EPS, zwischen Sparren eingebaut; AW Einblasdämmung 6cm; FE 3-fach (2022); 2022 Lüftungsanlage mit WRG für EG						
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast		
	0,45	120,5	11,0	11,7		
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]		

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	11	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,06	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40	
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	40 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	ja (laut Datenblatt)	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	45 °C	7:30 - 20:00 Uhr	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	4.700 kWh		Wärme- pumpe 12.847 kWh	64,2 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 1.224 kWh	6,1 kWh/(m²*a)
Summe			14.071 kWh	70,4 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	10/23	bis	12/23)	›	2,8	an Wärme gesamt:	91%
2023/24							Anteil WW bei WP:	21%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,7		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,6		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,6		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 19.000 kWh.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	69	Postleitzahl	63225
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	125 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1984...1994
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden
DA gedämmt - Sparren 12cm, innen 6cm; oGH nicht vorhanden; FE Uw 1,4 (2000)					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,66	113,8	11,0	7,0	
	[W/(m²·K)]	[kWh/(m²·a)]	[kWh/(m²·a)]	[kW]	

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	10	kW	
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,79		
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,38		
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt	-8	°C	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	48 °C @ -10 °C		
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K	
SG-Ready	SG	Heizstab	ja 2 x 3,5 kW		
Warmwasserbereitung: Dezentral elektrisch					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
-		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser					
Puffer		Einbindung			
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch	4 Stück, 8 weitere sind neuer			

Gebäude-Nr.	75	Postleitzahl	64287
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	197 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	11,07 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	ja	Fußboden	ja
Fenster 3-fach (2022); KD 10cm; RH (Mitte)					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,49	89,3	11,0	8,8	
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]	

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	8,5	kW	
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,00		
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,25		
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt			
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	62 °C @ -10 °C		
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K	
SG-Ready	ja	Heizstab	8 kW		
Warmwasserbereitung: Zentral über WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:		Solarthermie:			
Gas-Kessel (2017), muss von Hand zugeschaltet werden		-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	310 l	45 °C	6 - 9, 11:30 - 14, 18 - 22:30 Uhr		
Puffer	16 l	Einbindung	Reihe		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch	alle getauscht (mit größerer Fläche)			

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	kWh	<div><div>→</div><div></div></div>	Wärme- pumpe kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	kWh		Kessel kWh	- kWh/(m²*a)
			Sonstiges kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

	Zeitraum	(J)AZ
2023	(von 6/23 bis 11/23)	› 3,4
2023/24		
2024		
2024/25		
2025	(von 4/25 bis 6/25)	› 4,4

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div>-</div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div>+</div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div>+</div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div></div></div>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Erdgas.

Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.

Bei dieser Anlage sind gleich mehrere Störungen aufgetreten, so dass die Daten 12/23 – 01/24, 07/24 – 10/24, 01/25 – 03/25 fehlen. Bei der Erstinstallation gab es schon einen Fehler, der weitere Störungen verursachte. Der Hersteller und Installationsbetrieb haben jedes Mal sehr lange benötigt, um die Störung zu identifizieren und zu beheben. Die an den Bilanzkreis angepasste Arbeitszahl aus den vorliegenden Daten (alle) liegt im Mittel bei 3,7. Somit scheint die Anlage gut zu funktionieren, wenn keine Störung auftritt. Bei der Arbeitszahl ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass viele Wintermonate in der Erfassung fehlen. Der 16 l Speicher ist nur zu Bereitstellung der Abtauenergie vorhanden.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	76	Postleitzahl	64380
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1979...1983
beheizte Wohnfläche	240 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	15 kW
Batteriespeicher	15 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden ja
oGD 20cm Zellulose; AW Neubau 2000 Holzständerbau, Altbau 30cm Bimssteinen ohne zus. Dämmung; KD 6cm EPS; Wohnfläche 1980 125 qm, 2000 115 qm				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,49	103,4	11,0	12,4
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	8	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	4,84	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,50	
Baujahr	2015	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monovalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur		
Modulierend	nein	Nachtabsenkung		
SG-Ready	nein (ja laut BAFA 2023)	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über Solaranlage und elektrisch				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	Solarthermie (+ 4 kW Heizstab) für WW Bereitung, unabhängig von der WP			
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser				
Puffer	800 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch		15 Stück von Typ 22 auf Typ 33 getauscht	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.331 kWh		Wärmepumpe 16.736 kWh	69,7 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			16.736 kWh	69,7 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	10/23	bis	12/23)	›	5,3	an Wärme gesamt:	100%
2023/24								
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	5,0		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	5,0		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	5,1		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende: + | + hinzugerechnet - | - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Erdgas.

Anlage wurde selbst eingebaut. Die Regelung ist nicht wie üblich über eine Heizkurve und die Außentemperatur geführt, sondern über die Rücklaufftemperatur. Diese wird auf 29°C gehalten, daher ist keine Auslegungsvorlauftemperatur angegeben. Alle Heizkörper wurden händisch auf den Raumheizbedarf hydraulische abgeglichen. Eine ggf. nötige Raumtemperaturregelung/-absenkung erfolgt über die Thermostate an den Heizkörpern. Der SCOP der Wärmepumpen für 35°C liegt bei 4,9.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	77	Postleitzahl	64287
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1949...1957
beheizte Wohnfläche	180 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	4,41 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
		Fenster	ja
		Fußboden	ja
DA Zwischensparren PU ca. 18cm (024) + PUR Aufsparren; AW 12cm WDVS EPS 035; saniert 2004/2005; FE Holz 2-fach (2004); KD 12cm EPS 035			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,34	93,4	11,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]
			Heizlast
			8,4
			[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	9 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,30
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,65
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	60 °C @ -16 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja aber aus	Heizstab	ja
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. Solaranlage			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:		Solarthermie:	
-		6 qm Kollektorfläche für WW (2004)	
Unabhängig vom Heizungssystem: -			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	300 l	42,5 °C	5:30 - 22:00 (unklar ob Zirkulations- oder Ladezeiten)
Puffer	200 l	Einbindung	Reihe
Wärmeverteilung			
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	- kWh	<div>→ Wärmepumpe Kessel Sonstiges</div>	kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		kWh	- kWh/(m²*a)
			kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ
2023	(von	1/23	bis	12/23)	› 3,0
2023/24					
2024					
2024/25					
2025	(von	3/25	bis	6/25)	› 2,7

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div>-</div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div>-</div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div>-</div></div>
Standby WP	<div><div></div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div></div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div></div></div>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 20.000 kWh. Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.

Bei dieser Anlage liegen realistische Daten nur von 2023 vor, die korrigierte JAZ 2023 lag bei 3,0. Ab Januar 2024 fielen die Monatswerte der Arbeitszahlen ohne ersichtlichen Grund auf Werte unter 1,8 ab. Die Wärmeversorgung des Gebäudes war nicht beeinträchtigt. Die Ursache lag laut Techniker (02/2025) bei einem defekten Sensor, der die Rücklauftemperatur nicht korrekt erfasst hat. Zudem wurde ein Software-Update eingespielt. Seit 02/2025 liegen die Monatswerte der Arbeitszahlen wieder im Bereich des Jahres 2023. In 2023 lag der Stromverbrauch auf den Bilanzrahmen angepasst bei 3.857 kWh und die Wärmeerzeugung bei 11.187 kWh, der spez. Energieverbrauch pro Wohnfläche somit bei 62 kWh/(m²*a).

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	78	Postleitzahl	64342
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	120 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	15 kW
Batteriespeicher	14 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
DA 2012 zusätzlich 15cm Klemmfilz; AW teilweise außen 2cm; FE 1995 Iso-Glas; Flachdachbungalow BJ 1977, Energieeff. Klasse E, Kettenhaus tw. aneinander gebaut, Keller beheizt, Fenster neue Dichtungen sowie Rollädenkästen gedämmt + abgedichtet				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,60	159,0	11,0	9,5
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	12	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,94	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,40	
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt	0	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	55 °C @ -20 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP u. PV Überschuss Heizstab				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 2,4 - 19 kW		PV-Heizstab ab KW 36/2024		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen, Klimaanlage auch ggf. zum Heizen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	300 l	45 °C	7 - 9 Uhr	
Puffer	200 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch		alle getauscht (2022), WZ aktiver Unterflurkonvektor	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	4.606 kWh	<div><div></div><div></div></div>	Wärme- pumpe	15.994 kWh	133,3 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	22 kWh	0,2 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	380 kWh	3,2 kWh/(m²*a)
Summe			16.395 kWh	136,6 kWh/(m²*a)	

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum						(J)AZ	Anteil WP	
2023	(von	7/23	bis	12/23)	›	3,1	an Wärme gesamt:	98%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,4	Anteil WW bei WP:	10%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,5		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	3,4		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,4		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,02,22,42,62,83,03,23,43,63,84,04,24,44,64,85,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe WW	<div><div></div><div></div></div>	Frischwasserstation	<div><div></div><div></div></div>
Umwälzpumpe HZ	<div><div></div><div></div></div>	Ladepumpe Puffer	<div><div></div><div></div></div>	Pumpe Zirkulation	<div><div></div><div></div></div>
Standby WP	<div><div>+</div><div></div></div>	Heizungssteuerung	<div><div>+</div><div></div></div>	Abtauung (thermisch)	<div><div></div><div></div></div>

Legende:

+

|

+

hinzugerechnet

-

|

-

abgezogen

|

nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 25.900 kWh.

Im Sommer 2024 wurde ein Heizstab in den Trinkwarmwasserspeicher eingebaut, um PV-Überschüsse zu nutzen und dadurch Taktungen der Wärmepumpe zu reduzieren. Die vom Heizstab abgegebenen 135 kWh sind bei der sonstigen Wärmeerzeugung enthalten.

Der Bestandsgaskessel wurde in die Wärmepumpenanlage integriert und wird auch über einen Bivalenzpunkt angesteuert. Dies ist aber in der Regel nicht nötig und die WP versorgt das Gebäude überwiegend alleine.

Gebäude-Nr.	79	Postleitzahl	64390
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	170 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	11 kW
Batteriespeicher	nein kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	Außenwand	Fenster	Ja	Fußboden
Holzhaus in Holzrahmenbau mit MiWo Dämmung: FE Giebel 2-fach WSV, FE übrige Wände (außer einem) 3-fach WSV(2009), Dach-FE 2-fach WSV (2005), Rest 2018				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,50	134,9	11,0	11,1
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser, bivalent	Nennleistung	7	kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,74	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,35	
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	5	°C
Betriebsweise	bivalent	Auslegungs-Vorlauftemperatur	56 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung		
SG-Ready	ja, aber aus	Heizstab	nein	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP und Gaskessel				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
Gas-BW-Kessel 2,1 - 15 kW		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	400 l	45 °C	7:30 - 13 Uhr, sonst mit App nach Bedarf	
Puffer	Einbindung			
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	nein		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	3.008 kWh		Wärme- pumpe 8.542 kWh	50,2 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel 4.011 kWh	23,6 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			12.552 kWh	73,8 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,8	an Wärme gesamt:	68%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,0	Anteil WW bei WP:	20%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	2,8		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,7		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,8		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepunpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/> - <input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/> + <input type="text"/>


Legende: + hinzugerechnet - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Heizöl 23.000 kWh.
WP ist nachts aus wegen Nachbargebäude (dessen Schlafzimmerfenster liegt in Schallrichtung), prophylaktische Maßnahme - Nachbarn haben sich noch nicht beschwert. Platzierung der WP war etwas problematisch, der Weg zu einem besseren Standort war zu weit.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	80	Postleitzahl	68642
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1984...1994
beheizte Wohnfläche	204 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	8,95 kW
Batteriespeicher	10 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...


Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster ja Fußboden ja
DA ca. 14cm EPS + 6cm PU; oGD 24cm EPS; AW 30cm Blähton original; FE 3-fach (Uw 0,9); KD 5cm / 50% unbeheizt			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser Heizlast
	0,22	57,1	11,0
	[W/(m²·K)]	[kWh/(m²·a)]	[kWh/(m²·a)] [kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	10 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	3,96
Kältemittel	R32	SCOP 55°C	3,38
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	40 °C @ -3 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja, nicht angeschlossen	Heizstab	ja, aus
Warmwasserbereitung: Zentral über WP			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:	Solarthermie:		
-	-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	180 l	50 °C	6 - 10 und 16 - 22 Uhr
Puffer	300 l	Einbindung	parallel
Wärmeverteilung			
gemischt	Heizkörpertausch	alle getauscht (eine Platte mehr)	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

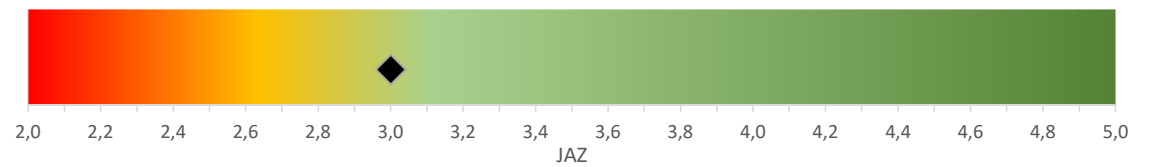
Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	6.008 kWh		Wärme- pumpe	18.233 kWh	89,4 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	408 kWh	2,0 kWh/(m²*a)
Summe			18.641 kWh	91,4 kWh/(m²*a)	
⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)				⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen	

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum						(J)AZ	Anteil WP	
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	2,9	an Wärme gesamt:	98%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,1	Anteil WW bei WP:	22%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	3,0		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	2,8		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	2,7		


Einordnung der Ergebnisse für 2024



Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme			Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage Zähler					
Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>		Ladepumpe WW	<input type="text" value="-"/>		Frischwasserstation	<input type="text"/>	
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>		Ladepumpe Puffer	<input type="text" value="-"/>		Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>	
Standby WP	<input type="text"/>		Heizungssteuerung	<input type="text"/>		Abtauung (thermisch)	<input type="text" value="+"/>	
Legende:	<input type="text" value="+ +"/>	hinzugerechnet	<input type="text" value="- -"/>	abgezogen	<input type="text"/>	nicht vorhanden/ nicht relevant		

Anmerkungen

Energieträger und mittlerer Energieverbrauch (Nutzerangabe) vor der Umstellung: Erdgas 22.000 kWh.

Gebäude-Nr.		81		Postleitzahl	
				Gebäudetyp	MFH
				Baualtersklasse (BAK)	1958...1968
				beheizte Wohnfläche	580 m²
				äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
				PV-Anlage	3,6 kW
				Batteriespeicher	nein kWh
⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...					
Gebäudehülle					
sanierte Bauteile					
Dach /oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja	Fenster	ja Fußboden
saniert 2008					
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast	
	0,52	86,3	16,5	24,2	
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]	
⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren			⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz		
Wärmeversorgung					
Wärmepumpe					
Art	Luft-Wasser		Nennleistung	29 kW	
Aufstellung	Split		COP A2W35	4,10	
Kältemittel	R407C		SCOP 55°C	3,43	
Baujahr	2021		Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monovalent		Auslegungs-Vorlauftemperatur	61 °C @ -15 °C	
Modulierend	ja		Nachtabsenkung	1 K	
SG-Ready	ja, nicht aktiviert		Heizstab	unklar, 9 kW nach Datenblatt empfohlen	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP					
Weitere Wärmeerzeuger					
Kessel:			Solarthermie:		
-			-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -					
Speicher					
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation		
Trinkwarmwasser	800 l	60 °C	0:00 -24:00 Uhr		
Puffer	800 l	Einbindung	parallel		
Wärmeverteilung					
Heizkörper	Heizkörpertausch		alle getauscht gegen NT-HK		

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾	
Wärmepumpe	11.539 kWh		Wärme- pumpe	48.692 kWh	84,0 kWh/(m²*a)
Heizstab	- kWh		Kessel	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges	0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
Summe			48.692 kWh	84,0 kWh/(m²*a)	

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	6/23	bis	12/23)	›	3,6	an Wärme gesamt:	100%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	3,9	Anteil WW bei WP:	46%
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,2		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,3		
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	4,3		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

+ | +

 hinzugerechnet

- | -

 abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant


Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Erdgas.

Komplett saniertes kleines MFH in Blockrandbebauung, Innenstadtlage. Wenig Heizenergieverbrauch, höherer Warmwasseranteil. JAZ sehr hoch, jedoch noch im realistischen Bereich.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	82	Postleitzahl	64289
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	215 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1995...2001
PV-Anlage	10 kW
Batteriespeicher	10 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
		Fenster	ja
			Fußboden
DA Gefälledämmung 5-30cm; AW innen Kalziumsilikat 5cm; FE neues Glas 1,3, keine neuen Dichtungen			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,54	157,3	11,0
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]
			Heizlast
			16,6
			[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	17 kW
Aufstellung	Split	COP A2W35	4,40
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,83
Baujahr	2023	Bivalenzpunkt	-5 °C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	55 °C @ -8 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja, nicht aktiviert	Heizstab	ja, Betrieb unklar
Warmwasserbereitung: Zentral über WP			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:	Solarthermie:		
-	-		
Unabhängig vom Heizungssystem: -			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	300 l	47 °C	wie Ladezeiten mit Intervall 15 min an und 5 min aus
Puffer	200 l	Einbindung	
Wärmeverteilung			
gemischt	Heizkörpertausch	alle getauscht	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	kWh		Wärmepumpe kWh	- kWh/(m²*a)
Heizstab	kWh		Kessel kWh	- kWh/(m²*a)
			Sonstiges kWh	- kWh/(m²*a)
Summe			kWh	kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum	(J)AZ
2023	
2023/24	
2024	
2024/25	
2025 (von 1/25 bis 6/25)	› 3,2

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0
JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/> - <input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/> - <input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>


Legende: + | + hinzugerechnet - | - abgezogen nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Erdgas.
Gebäude nicht in der Gesamtauswertung enthalten.
Bei dieser LW-WP lagen die Stromverbrauchswerte aus einem Zwischenzähler vor. Nachdem die Monatswerte der Arbeitszahlen unrealistisch hoch lagen (über den COP-Werten) wurde festgestellt, dass beim Stromzähler die Außeneinheit nicht komplett erfasst wurde. Dieses Problem wurde im Dezember 2023 behoben. Auch danach wurden jedoch immer noch Arbeitszahlen von über 6 für einzelne Monate ermittelt. Im Dezember 2024 wurden dann durch einen Techniker ein Sensor getauscht und ein System-Update aufgespielt und damit auch alle Daten in der Anlage gelöscht. Ab Januar 2025 liegen wieder Daten vor, die sich jetzt in einem realistischen Rahmen bewegen. Die Arbeitszahl liegt für 01/2025 – 06/2025 korr. bei 3,2. Vor dem Sensortausch und dem Update lagen die Werte für 06/2023 - 12/2023 bei 5,3 und für 01/2024 – 11/2024 bei 5,6.

01.10.2025 15:55

Gebäude-Nr.	84	Postleitzahl	65520
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	ZFH
Baualtersklasse (BAK)	
beheizte Wohnfläche	240 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	
PV-Anlage	- kW
Batteriespeicher	- kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	ja Fußboden
DA Aufsparrendämmung PU ca. 14cm (027); FE oben 2-fach (Uw 1,1), unten 2x 3-fach, Rest 2-fach				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,40	130,8	11,0	15,7
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Erdreich	Nennleistung	14	kW
Aufstellung	Innen	COP B0W35	4,98	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,80	
Baujahr	2021	Bivalenzpunkt		
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	48 °C @ -20 °C	
Modulierend	nein	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	ja, keine PV	Heizstab	ja, aus	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:		Solarthermie:		
-		-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Pelletkaminofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser	500 l	50 °C	Temperaturgesteuert über Frischwasserstation (Annahme 6- 22 Uhr)	
Puffer	750 l	Einbindung	Reihe	
Wärmeverteilung				
gemischt	Heizkörpertausch	7 Stück (Alle außer einem)		

Gebäude-Nr.	85	Postleitzahl	65520
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1958...1968
beheizte Wohnfläche	231 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	1979...1983
PV-Anlage	30 kW
Batteriespeicher	nein kWh


⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle				
sanierte Bauteile				
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	Fenster	Fußboden
DA 10cm MiWo (U-Wert ca. 0,5)				
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser	Heizlast
	0,98	198,6	11,0	23,7
	[W/(m²*K)]	[kWh/(m²*a)]	[kWh/(m²*a)]	[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung				
Wärmepumpe				
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	15	kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	4,14	
Kältemittel	R410A	SCOP 55°C	3,53	
Baujahr	2020	Bivalenzpunkt	-9,5	°C
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	46 °C @ -10 °C	
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1	K
SG-Ready	? (ja laut BAFA 2023)	Heizstab	ja, nicht aktiviert	
Warmwasserbereitung: Zentral über WP, Kombispeicher mit Wärmeübertrager				
Weitere Wärmeerzeuger				
Kessel:	Solarthermie:			
-	-			
Unabhängig vom Heizungssystem: Kachelofen				
Speicher				
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation	
Trinkwarmwasser		45 °C	keine	
Kombispeicher	613 l	Einbindung	parallel	
Wärmeverteilung				
Heizkörper	Heizkörpertausch	5 Stück		

Gebäude-Nr.	86	Postleitzahl	64289
-------------	----	--------------	-------



Gebäudetyp	EFH
Baualtersklasse (BAK)	1969...1978
beheizte Wohnfläche	140 m²
äquiv. BAK (gem. H'T) ⁽¹⁾	2002...
PV-Anlage	13,4 kW
Batteriespeicher	15 kWh

⁽¹⁾ entspricht typischem Gebäude der Altersklasse ...

Gebäudehülle			
sanierte Bauteile			
Dach / oberste Geschossdecke	ja	Außenwand	ja
Fenster	ja	Fußboden	ja
DA Zwischensparren (023), 8cm Weichfaser Aufsparren (040) (10 cm EPS alt zwischen Sparren), Flachdach Gefälledämmung 28-12cm PU (023); AW 16cm MiWo (035); FE 3-fach (Uw 0,8); KD 2 Räume 4cm PU, Rest 8cm PU			
Bedarfs-kennwerte ⁽²⁾	H _T ⁽³⁾	Heizung	Warm-wasser
	0,24	81,8	11,0
	[W/(m²·K)]	[kWh/(m²·a)]	[kWh/(m²·a)]
			Heizlast
			5,9
			[kW]

⁽²⁾ Rechenwerte nach TABULA-Verfahren ⁽³⁾ Kennwert für Gebäudewärmeschutz

Wärmeversorgung			
Wärmepumpe			
Art	Luft-Wasser	Nennleistung	12,4 kW
Aufstellung	Außen	COP A2W35	3,98
Kältemittel	R290	SCOP 55°C	3,68
Baujahr	2022	Bivalenzpunkt	
Betriebsweise	monoenergetisch	Auslegungs-Vorlauftemperatur	43 °C @ -20 °C
Modulierend	ja	Nachtabsenkung	1 K
SG-Ready	ja, nicht angeschlossen	Heizstab	ja, aus
Warmwasserbereitung: Zentral über WP			
Weitere Wärmeerzeuger			
Kessel:	Solarthermie:		
-	-		
Unabhängig vom Heizungssystem: Kaminofen			
Speicher			
	Volumen	Solltemperatur	Zirkulation
Trinkwarmwasser	300 l	50 °C	7 - 11 und 16 - 21 Uhr (bis 24.07.23: 24 h)
Puffer	200 l	Einbindung	parallel
Wärmeverteilung			
gemischt	Heizkörpertausch	alle getauscht	

Ergebnisse (auf Basis von Messwerten)

Verbräuche 2024

Strom	Bezug		Wärmeerzeugung ⁽⁴⁾	Kennwert Wärme ⁽⁵⁾
Wärmepumpe	2.790 kWh		Wärme- pumpe 11.126 kWh	79,5 kWh/(m²*a)
Heizstab	87 kWh		Kessel 0 kWh	0,0 kWh/(m²*a)
			Sonstiges 490 kWh	3,5 kWh/(m²*a)
Summe			11.616 kWh	83,0 kWh/(m²*a)

⁽⁴⁾ Erzeugernutzwärmeabgabe (gemessen bzw. berechnet)

⁽⁵⁾ auf Wohnfläche bezogen

Effizienz der Wärmepumpe

Zeitraum					(J)AZ	Anteil WP		
2023	(von	1/23	bis	12/23)	›	4,2	an Wärme gesamt:	96%
2023/24	(von	7/23	bis	6/24)	›	4,2		
2024	(von	1/24	bis	12/24)	›	4,1		
2024/25	(von	7/24	bis	6/25)	›	4,0	Anteil Heizstab bei WP	3%
2025	(von	1/25	bis	6/25)	›	3,9		

Einordnung der Ergebnisse für 2024

2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0

JAZ

Anpassung Bilanzgrenzen Strom/Wärme

Hinzurechnung/Abzug für Werte aus Anlage | Zähler

Ladepumpe Quelle	<input type="text"/>	Ladepumpe WW	<input type="text"/>	Frischwasserstation	<input type="text"/>
Umwälzpumpe HZ	<input type="text"/>	Ladepumpe Puffer	<input type="text"/>	Pumpe Zirkulation	<input type="text"/>
Standby WP	<input type="text"/>	Heizungssteuerung	<input type="text"/>	Abtauung (thermisch)	<input type="text"/>

Legende:

++

hinzugerechnet

--

abgezogen

nicht vorhanden/ nicht relevant

Anmerkungen

Energieträger vor der Umstellung: Erdgas.

Gemischte Wärmeübergabe Heizkörper und Flächenheizung. Der Heizkörperkreis wird mit der gleichen Heizkurve wie der Fußbodenkreis gefahren.

01.10.2025 15:55